La biodiversidad en la

Ciudad de México

Volumen

III



La biodiversidad en la Ciudad de México

Primera edición, 2016

ISBN CONABIO OBRA COMPLETA: 978-607-8328-71-0
ISBN CONABIO VOLUMEN: 978-607-8328-75-8
ISBN SEDEMA OBRA COMPLETA: 978-607-9206-01-7
ISBN SEDEMA VOLUMEN: 978-607-9206-04-8

Forma de citar:
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal (SEDEMA). 2016. *La biodiversidad en la Ciudad de México*. CONABIO/SEDEMA. México.

Coordinación y seguimiento general CONABIO[1] y SEDEMA[2]:
Andrea Cruz Angón[1]
Juan Arturo Rivera Rebolledo[2]
Edith Georgina Cabrera Aguirre[2]
Erika Daniela Melgarejo[1]
Héctor Perdomo Velázquez
Ana Victoria Contreras Ruiz Esparza

Compilación y edición técnica y científica:
CONTEXTO FÍSICO: Silke Cram Heydrich y María del Pilar Fernández Lomelín; **CONTEXTO HISTÓRICO Y SOCIAL**: José Antonio Rosique y Sergio Alejandro Méndez Cárdenas; **MARCO INSTITUCIONAL Y NORMATIVO**: Salvador Muñúzuri Hernández y Javier Riojas Rodríguez; **DIVERSIDAD DEL PASADO**: Joaquín Arroyo Cabrales y Felisa Josefina Aguilar Arellano; **DIVERSIDAD DE HONGOS Y PLANTAS**: Rafael Torres Colín; **DIVERSIDAD DE INVERTEBRADOS**: Zenón Cano Santana, Víctor López Gómez e Iván Castellanos Vargas; **DIVERSIDAD DE VERTEBRADOS**: Uri Omar García Vázquez; **DIVERSIDAD GENÉTICA**: Guadalupe Méndez Cárdenas; **SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**: Lucia Oralia Almeida Leñero; Irene Pisanty Baruch y Teresa González Martínez; **EXPERENCIAS Y OPORTUNIDADES DE CONSERVACIÓN**: Juan Arturo Rivera Rebolledo y Guadalupe Méndez Cárdenas; **HACIA LA ESTRATEGIA**: Oscar Báez Montes y Andrea Cruz Angón.

Corrección de estilo:
José Pulido Mata, Erika Daniela Melgarejo, Karla Carolina Nájera Cordero, Héctor Perdomo Velázquez, Jessica Valero Padilla.

Diseño y formación:
Vianney González Luna, Víctor Manuel Martínez Beltrán.

Gráficas: Vanessa Guadalupe Ramos Urzúa.

Cartografía:
Leonardo Calzada Peña, Jessica Valero Padilla y Diego David Reygadas Prado.

Cuidado de la edición:
Vianney González Luna, Erika Daniela Melgarejo, Karla Carolina Nájera Cordero, Andrea Cruz Angón, Héctor Perdomo Velázquez, Jessica Valero Padilla, Jorge Cruz Medina.

Revisión técnica de textos[3] y listados de especies[4]:
Esteban Benítez Inzunza[3], Oscar Báez Montes[3], Karla Carolina Nájera Cordero[3], Elizabeth Campos Sánchez[3], María Elena García Granados[3], Rafael Eduardo Pompa Vargas[3], Gonzalo Pino Farias[3], Ana Laura García López[3], Sara González Pérez[3], Saúl López Alcaide[3], Ramón Cecaira Ricoy[3], Inti Burgos Hidalgo[3], Yajaira García Feria[3], María Zorrilla Ramos[3], Ana Victoria Contreras Ruiz Esparza[3], Héctor Perdomo Velázquez[3,4], Raúl González Salas[4], Martha Alicia Reséndiz López[4], Susana Ocegueda Cruz[4], Dulce Parra Toris[4], Margarita Hermoso Salazar[4], Claudia Sarita Frontana Uribe[4], Alberto Romo Galicia[4], Diana Hernández Robles[4] y Adriana Iraní Hernández Abundis[4].

Agradecimientos: El Gobierno de la Ciudad de México a través de la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), expresan su reconocimiento a todas aquellas instituciones y personas que colaboraron en la elaboración del presente Estudio de Estado, en particular a Fernando Camacho, María Alejandra González Gutiérrez, Martha Beatriz Vega Rosales, Javier Riojas Rodríguez y José Francisco Bernal Stoopen, quienes estuvieron involucrados en etapas iniciales de la elaboración de esta obra.

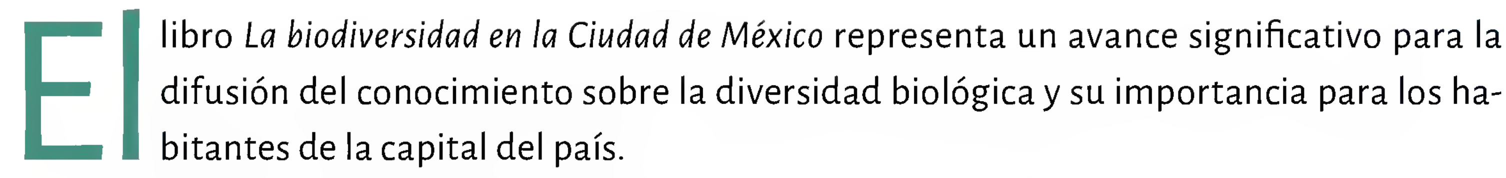
Fotografías de la portada:
Gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*) de Manuel Grosselet/Banco de Imágenes CONABIO.
Hombre en Xochimilco de Adalberto Ríos Szalay/Banco de Imágenes CONABIO.
Maguey (*Agave salmiana*) de Miguel Ángel Sicilia Manzo/Banco de Imágenes CONABIO.
Mariposa cometa (*Pterourus multicaudatus*) Carlos Enrique Galindo Leal/Naturalista.

Impreso y hecho en México
Printed and made in Mexico

La biodiversidad en la Ciudad de México

Presentación

Dr. José Sarukhán Kermez
Coordinador Nacional de la CONABIO



El libro *La biodiversidad en la Ciudad de México* representa un avance significativo para la difusión del conocimiento sobre la diversidad biológica y su importancia para los habitantes de la capital del país.

La obra contiene la información, más confiable y actualizada hasta el momento, sobre la situación actual del patrimonio biológico de la entidad. Las distintas personas de la estructura gubernamental, la academia y la sociedad civil de la ciudad podrán consultarla y utilizarla como elemento base para tomar decisiones, diseñar estrategias de planeación y realizar nuevas investigaciones, aplicadas o básicas, en beneficio del desarrollo sustentable de esta entidad.

Este *Estudio de Estado de la Biodiversidad* es una “fotografía instantánea” del conocimiento y estado de conservación de la biodiversidad en la entidad, por lo que será necesario mantener los esfuerzos para continuar incrementando el conocimiento del capital natural de la ciudad, conforme éste se va produciendo, así como para implementar acciones que ayuden a su conservación y utilización sustentable para beneficio no sólo de las personas dueñas de las áreas donde se encuentra ese capital natural, sino de toda la sociedad.

Tengo la seguridad de que las instituciones locales darán continuidad a los esfuerzos para incrementar el conocimiento sobre la biodiversidad, la identificación y el registro de los cambios, y apoyarán la difusión de esta obra; sólo de esta manera se aplicará y será de utilidad para las instituciones gubernamentales y para los habitantes de la ciudad.

Cabe resaltar que esta obra es un eslabón fundamental para la elaboración e instrumentación de la *Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad en la Ciudad de México*, la cual tiene como objetivo fundamental establecer las prioridades para conservar y hacer uso racional del capital natural, incluidos los servicios ambientales que ese capital provee en beneficio de la sociedad de esta entidad.

La Ciudad de México es una entidad de avanzada en materia de derechos humanos. Las recientes reformas constitucionales que han dado el estatus de estado al anterior Distrito Federal, ahora Ciudad de México, abren una excelente ventana de oportunidad para reformar y armonizar el marco normativo de esta entidad e integrar de una manera más significativa consideraciones de conservación y uso sustentable de la biodiversidad en las políticas públicas. La formulación de una constitución para la entidad 32 de México propiciará circunstancias favorables para asegurar que la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos presentes en la ciudad se integren como un derecho de los capitalinos a un ambiente sano, tal como lo marca el artículo 4º de nuestra Carta Magna.

La biodiversidad en la Ciudad de México proporciona argumentos que deben ser tomados en cuenta para este proceso de reformas políticas que encarará la ciudad en un futuro próximo.

Agradecemos el compromiso y dedicación de los más de 170 autores pertenecientes a 31 instituciones y organizaciones estatales, nacionales e internacionales, sin los cuales no hubiera sido posible la elaboración de este libro, los felicitamos por la consumación de este gran esfuerzo.

Este volumen es un valioso legado para el conocimiento y estado de la biodiversidad, fundamental para la valoración y conservación del capital natural de la Ciudad de México.

Mensaje

Dr. Miguel Ángel Mancera Espinosa
Jefe de Gobierno de la Ciudad de México

La Ciudad de México se encuentra inmersa en la cuenca de México, región sumamente heterogénea cultural, ecológica y biológicamente. Es un lugar privilegiado que posee gran diversidad de ecosistemas en los que habitan miles de especies de vida silvestre, muchas de ellas endémicas, es decir, que únicamente se distribuyen de manera natural en esta región.

El Gobierno de la Ciudad de México firmó un convenio marco de colaboración con la CONABIO a finales del 2009 que fue ratificado en el 2014, con el objetivo de desarrollar políticas públicas orientadas al conocimiento, conservación y uso sustentable de la biodiversidad de la Ciudad de México. A raíz de este convenio, inició la elaboración de *La biodiversidad en la Ciudad de México*.

La presente obra refrenda el compromiso de la ciudad de dirigir todos sus esfuerzos a detener y revertir el deterioro de los ecosistemas y la pérdida de las especies que los habitan.

Como Jefe de Gobierno de la Ciudad de México, es para mí un honor presentar, por primera vez, el diagnóstico más completo y actualizado sobre la diversidad biológica de esta entidad: *La biodiversidad en la Ciudad de México*.

Esta obra representa el esfuerzo sin precedentes de cerca de 171 autores, 31 instituciones mexicanas y extranjeras: academia, sociedad civil, gobierno de la ciudad y gobierno federal, todos especialistas del más alto nivel.

Es importante señalar que por primera vez a nivel nacional, se dedica un capítulo de este estudio a la valoración de los beneficios que la ciudadanía obtiene de sus ecosistemas (servicios ecosistémicos), lo que toma mayor relevancia en una gran urbe como la Ciudad de México.

A lo largo de tres volúmenes, se describe detalladamente el contexto físico, socioeconómico y normativo, así como la diversidad de flora y fauna en sus diferentes niveles de organización (ecosistemas, genes y especies), también se abordan las estrategias y oportunidades de conservación en la ciudad, lo cual constituye un parteaguas en el conocimiento, uso sostenible y conservación de su patrimonio.

La biodiversidad en la Ciudad de México proporciona las bases necesarias para la correcta gestión de los recursos naturales de esta entidad, y es el primer paso hacia la elaboración de la *Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad en la Ciudad de México* y su plan de acción de la Ciudad de México, instrumentos que orientarán el desarrollo de las políticas públicas hacia la conservación de esta rica diversidad biológica.

Expreso mi mayor agradecimiento a todas y cada una de las personas que compartieron su experiencia y conocimiento en la elaboración de la presente obra.

Contenido

Volumen III

Introducción

Introducción

Volumen III

Andrea Cruz Angón
Héctor Perdomo Velázquez

Este tercer volumen de *La biodiversidad en la Ciudad de México* aborda el estudio de la biodiversidad desde otras perspectivas. Se pone a disposición de los lectores una sección dedicada a los servicios ecosistémicos (SE) asociados a la biodiversidad de la ciudad (sección 8); se documentan algunas experiencias de conservación (sección 9) y se identifican algunas oportunidades de uso sustentable; por último, se presentan las reflexiones finales que los compiladores y coordinadores del estudio hacen con la finalidad de dar pie a la elaboración de la *Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad en la Ciudad de México* (sección 10), que es un documento de planeación estratégica que se preparará tomando como base el diagnóstico aquí presentado.

Servicios ecosistémicos

Existen diversas definiciones del término servicios ecosistémicos. La definición utilizada en la sección 8 de esta obra, es la propuesta por la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MA 2005), que define a los servicios ecosistémicos como todos los beneficios que las poblaciones humanas obtienen de los ecosistemas.

En esta sección se documentan algunos de los servicios de soporte, provisión, regulación y culturales que los ecosistemas de la Ciudad de México proveen a sus habitantes.

También se incluyen capítulos para las tendencias históricas en la generación de servicios ecosistémicos, la valoración económica de los mismos; así como estudios de caso de los SE que aportan diferentes lugares de la ciudad a sus habitantes.

A pesar de los cambios profundos que han impactado a esta entidad, en el suelo de conservación y en los relictos de sus sistemas naturales, todavía funcionan los procesos ecológicos que originan y mantienen servicios esenciales para el funcionamiento de la Ciudad de México

El concepto de conservación

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN 2016) define a la conservación como la protección, cuidado, manejo y mantenimiento de los ecosistemas, hábitats, especies de vida silvestre y

Cruz-Angón, A. y H. Perdomo-Velázquez. 2016. Introducción. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.13-15.

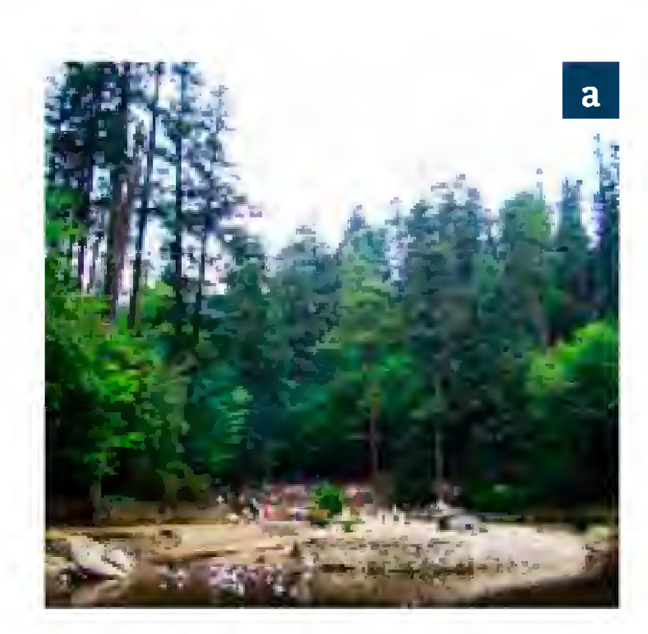
poblaciones, dentro y fuera de sus hábitats naturales, con el objetivo de salvaguardar sus condiciones naturales a largo plazo.

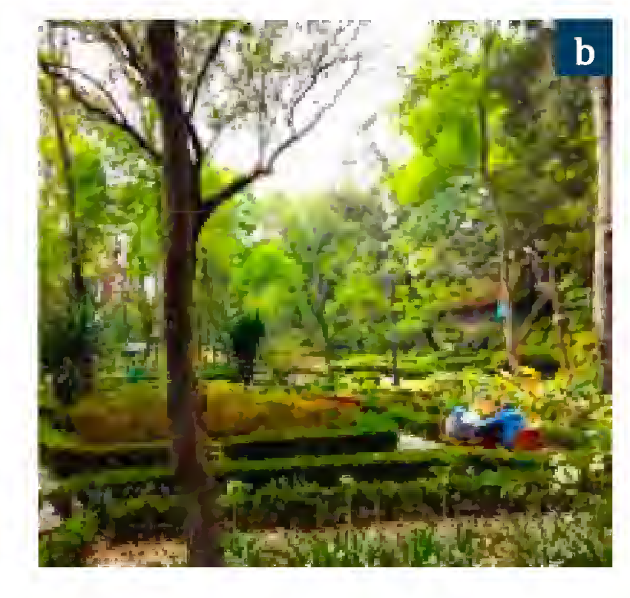
La sección 9 presenta una recopilación y análisis de los principales instrumentos de política pública y estrategias de conservación in situ y ex situ que se han implementado en la Ciudad de México para conservar sus recursos biológicos, entre los que se encuentran: las áreas naturalesprotegidas (ANP), las áreas de valor ambiental (AVA), las áreas verdes urbanas (AVU), las unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA), entre otros (SEMARNAT 2000, SMA 2010).

En esta sección el lector podrá encontrar información vislumbrar nuevas oportunidades para fortalecer la protección, conservación y uso sustentable de la biodiversidad de la ciudad.

La situación de la biodiversidad en la Ciudad de México ha sido resultado del devenir histórico que incluyen decisiones políticas, sucesos sociales e incluso ambientales. Es necesario resaltar que la biodiversidad que se ha documentado en esta obra es una fotografía "instantánea" que cambia constantemente como resultado de los procesos sociales y ambientales.

La sección final de este volumen (sección 10) ofrece al lector un análisis final a partir de las experiencias de los coordinadores participantes en la compilación de la obra. Tomando cuatro ejes principales: 1) conocimiento e investigación; 2) protección y conservación; 3) marco Institucional y normativo; y 4) factores de presión y amenazas a la biodiversidad, los coordinadores resaltan los principales hallazgos de esta obra y proponen algunas prioridades de generación de conocimiento, basándose en los vacíos de conocimiento. También se identifican prioridades de conservación para algunas especies y servicos ecosistémicos y algunas barreras generales a la gobernanza ambiental de la Ciudad de México. Todos estos elementos deberán ser retomados en la elaboración de la *Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad en la Ciudad de México*, cuya elaboración está en curso.





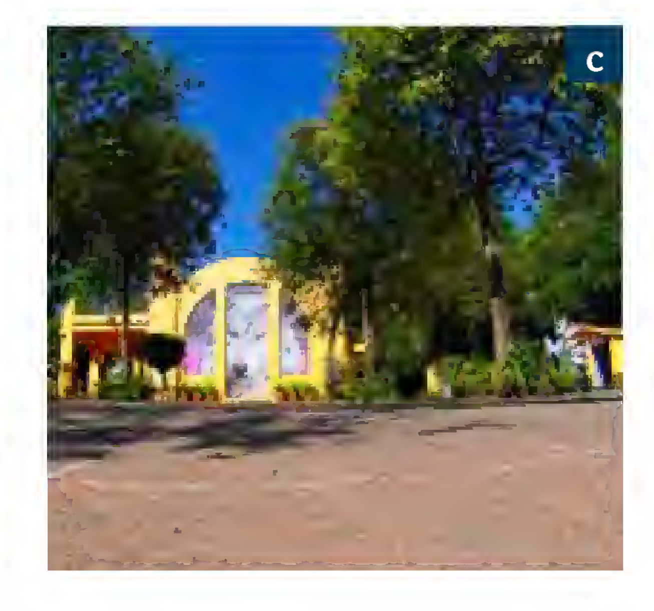


Figura 1. En la Ciudad de México se utilizan diferentes herramientas ambientales para conservar y hacer uso sustentable de la biodiversidad. *a*) El Desierto de los Leones es un ejemplo de ANP, *b*) el Parque Hundido Luis G. Urbina es una AVU y *c*) el zoológico de Chapultepec es una UMA. Fotos: Carmen Aguilar, Héctor Perdomo Velázquez y Agustín Rodríguez.

Referencias

MA. Millenium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis. World Resources Institute. Millennium

SEMARNAT. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2000. Ley General de Vida Silvestre. Última reforma 26 de enero de 2015. Texto vigente.

SMA. Secretaría del Medio Ambiente. 2010. *Informe Final del "Proyecto Integración del Sistema de Gestión para las Áreas Verdes del Distrito Federal mediante un Sistema de Información Geográfica"*. Archivo de la Dirección de Reforestación Urbana, Parques y Ciclovías de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.

UICN. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. 2016. UICN definitions. En: <*https://cmsdata.iucn.org/downloads/en_iucn__glossary_definitions.pdf*>, última consulta: 18 de febrero de 2016.

Servicios ecosistémicos



Foto: César Hernández Hernández.


8

Resumen ejecutivo

Sistemas ecosistémicos

Héctor Perdomo Velázquez

Los servicios ecosistémicos (SE) son todos los beneficios que obtenemos de los ecosistemas como el agua dulce, los alimentos, la regulación del clima, el control de la erosión y las plagas, el reciclaje de nutrientes, la formación de suelo y producción de oxígeno, así como la belleza escénica, cultural o espiritual de muchos sitios, entre otros.

En *La biodiversidad en la Ciudad de México*, se considera por primera vez una sección específica a los servicios de soporte, provisión, regulación y culturales en la entidad (cuadro 1). Además, se incluyen capítulos para las tendencias históricas en la generación de SE y la valoración económica de los mismos; así como estudios de caso de los SE que aportan diferentes lugares de la ciudad.

Los ecosistemas terrestres y acuáticos, presentes en el territorio de la Ciudad de México, aportan diferentes tipos de SE que son necesarios para la vida de sus habitantes. Un SE de soporte importante en la entidad es el ciclo del agua, el cual se asocia con otros como la provisión de agua y la regulación de su calidad, con el tiempo estas condiciones cambiaron significativamente y las consecuencias más importantes han sido la disminución del volumen

Cuadro 1. Resumen de servicios ecosistémicos por región ecológica.

Servicios ecosistémicos		Regiones ecológicas					
Clasificación	Tipo	Bosques y Cañadas	Humedales de Xochimilco y Tláhuac	Parques y jardines Urbanos	Serranías de Xochimilco y Milpa Alta	Sierra de Guadalupe	Sierra de Santa Catarina
Soporte	Hábitat						
	Ciclo del agua						
	Productividad primaria			*			
	Formación y retención del suelo						
Provisión	Alimentos						
	Agua dulce						
	Recursos maderables y no maderables						
	Recursos genéticos						
Regulación	Del clima						
	De la calidad del aire						
	De la calidad del agua						
	De los flujos de agua						
Cultural	Culturales						
	Valor espiritual y religioso						
	Recreación y ecoturismo						

*Productividad elevada ligada a procesos de eutroficación que tiene efectos negativos sobre los ecosistemas y los humanos. Fuente: elaboración propia.

Perdomo-Velázquez, H. 2016. Resumen ejecutivo. Servicios ecosistémicos. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.19-21.

de agua potable disponible y el hundimiento del a ciudad. Otros servicios de soporte para la ciudad son la fijación de carbono y, la formación y retención de suelo.

Los servicios de provisión son productos tangibles que proporcionan sustento básico a la vida humana, uno de ellos son los alimentos. Los sistemas de producción agrícola en la Ciudad de México presentan características especiales desde tiempos prehispánicos, como es el uso de las chinampas, por lo que forma parte de uno de los principales centros de origen de especies como el maíz (*Zea mays*), la calabaza (*Cucurbita* spp.), el chile (*Capsicum* spp.), el amaranto (*Amaranthus* spp.) y el frijol (*Phaseolus* spp.). Actualmente, 95% de las chinampas existentes se encuentran abandonadas y las restantes son dedicadas al turismo y producción de flores. Otro servicio de provisión para la ciudad son los recursos maderables.

Los servicios de regulación son los beneficios que obtenemos de los procesos que mantienen la salud de los ecosistemas y dependen de la interacción entre los factores abióticos y los organismos vivos. Algunos de estos SE otorgan beneficios indirectos o poco reconocidos, por ello a menudo se toman en cuenta hasta el momento en que se han perdido o alterado. Los servicios de regulación en la ciudad son la regulación del clima, del aire, de la calidad del agua, de la erosión, la polinización, el control de enfermedades humanas, el control biológico de plagas.

Los servicios culturales se refieren a los beneficios espirituales, estéticos, psicológicos y otros de índole no material que obtienen las personas del contacto con los ecosistemas. Algunos de estos servicios son fácilmente cuantificables, como los efectos positivos de los ecosistemas en la salud humana; otros son sumamente difíciles de reconocer y medir, como la influencia de los ecosistemas en la generación y mantenimiento de la diversidad cultural y espiritual. El promedio de áreas verdes en la ciudad es de 8.4 m^2/ hab, por debajo del límite inferior recomendado por la OMS, lo cual incide negativamente con la salud física y mental de los habitantes de la ciudad.

La historia ambiental del valle de México ha sufrido múltiples transformaciones sobre todo con la llegada de los españoles, y los ecosistemas lacustres que fueron base de las civilizaciones prehispánicas se desecaron con el aumento de la mancha urbana. Actualmente, es evidente la disminución drástica de SE de soporte y regulación, sólo los servicios culturales de recreación y ecoturismo muestran tendencia a incrementarse.

Darle un valor económico a los SE, cobra importancia en la ciudad, debido a que puede ayudar a reconocerlos y evitar su pérdida. Un ejemplo es la disposición de los consumidores a pagar por mejorar los servicios de disponibilidad de agua potable; se reporta que las personas estarían dispuestas a pagar de manera agregada, alrededor de cuatro mil millones de pesos al año para mejorar este servicio. Hacer las estimaciones monetarias de los SE que la biodiversidad de la ciudad brinda, será de gran utilidad para la elaboración de políticas públicas e instrumentos de conservación.

En esta sección se señalan zonas y situaciones en la Ciudad de México que requieren atención para evaluar y conservar sus SE. Se mencionan ejemplos con soluciones, regiones, hábitats y especies puntuales relacionadas con la necesidad de considerar los SE como una de las mejores estrategias de conservación de la biodiversidad.

Introducción a los servicios ecosistémicos

Lucía Almeida Leñero
Teresa González Martínez
Irene Pisanty Baruch

Introducción

Los servicios ecosistémicos (SE) son todos los beneficios que obtenemos de los ecosistemas, como el agua dulce, los alimentos, la regulación del clima, el control de la erosión y las plagas, el reciclaje de nutrientes, la formación de suelo y producción de oxígeno, así como la belleza escénica, cultural o espiritual de muchos sitios, entre otros. Este concepto cuyo origen se vincula con las preocupaciones iniciales del sector científico (Mooney y Ehrlich 1997) y con el movimiento ambientalista de finales de los años sesenta, surgió para responder cuestionamientos acerca de los impactos en la capacidad y la producción de bienes para ser consumidos por las poblaciones humanas (Balvanera y Cotler 2007) y permite evidenciar la relación entre el estado de conservación de los ecosistemas y su relación con el bienestar humano.

En la Evaluación de Ecosistemas del Milenio, un grupo de expertos generó una valoración científica sobre la condición y las tendencias en los ecosistemas del mundo que documenta las relaciones entre el ambiente y el bienestar humano (MA 2005, Carpenter *et al.* 2009). Con este esfuerzo fue posible consolidar este concepto entre la comunidad científica y la política, para dar lugar a nuevos enfoques en la investigación sobre los ecosistemas y su conservación y el desarrollo (Daily y Matson 2008).

El término de servicios ambientales se utiliza también para referirse a los SE, sin embargo, existen diferencias en su contexto. El primero le da un mayor peso al término ambiente y se usa principalmente entre los tomadores de decisiones, sin tomar en cuenta las interacciones que permiten que se generen los servicios. El segundo enfatiza las interacciones que ocurren en los ecosistemas entre los componentes bióticos (las plantas, los animales, los microorganismos) y los abióticos (la energía, el agua, el suelo, los nutrientes, la atmósfera, etc.), a través de ciertos procesos, que crean las condiciones en las que se da la vida humana y generan beneficios para ésta (Balvanera y Cotler 2007).

Los SE pueden clasificarse de distintas maneras, en este capítulo se utilizará la clasificación propuesta en la Evaluación de Ecosistemas del Milenio para explicar la correlación entre la forma en que se proporcionan los servicios y cómo éstos favorecen a las sociedades. Los SE se clasifican en servicios de provisión, regulación, culturales y de soporte (cuadro 1) (MA 2003).

Cambios históricos

Es fundamental conocer los SE de la capital del país, para entender las disyuntivas que enfrenta como consecuencia de la larga y compleja historia de transformación ambiental que caracteriza a su territorio. Por lo que resulta de importancia estratégica, por la influencia ecológica, ambiental y socioeconómica.

Almeida-Leñero, L., T.M. González-Martínez e I. Pisanty. 2016. Introducción a los Servicios Ecosistémicos. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.22-27.

Cuadro 1. Clasificación de los servicios ecosistémicos.

Servicios de provisión	Servicios de regulación	Servicios culturales	Servicios de soporte
Bienes tangibles, recursos que son finitos y medibles:	Mecanismos que mantienen la naturaleza y las condiciones del ambiente:	Bienes intangibles y tangibles que dependen de la percepción del hombre y su cultura:	Procesos ecológicos que aseguran el buen funcionamiento de los ecosistemas, así como la existencia de todos los demás servicios:
Alimento	Regulación del clima	Diversidad cultural	Hábitat
Agua dulce	Regulación de la calidad del aire y el agua	Valor espiritual y religioso	Ciclo del agua
Recursos maderables y no maderables	Regulación de los flujos de agua (infiltración, mantenimiento de flujo base, control de inundaciones)	Recreación y ecoturismo	Productividad primaria
Recursos genéticos	Control de la erosión	Belleza escénica	Ciclos biogeoquímicos
	Polinización	Valor educativo	Formación y retención de suelo
	Control de enfermedades humanas	Valor histórico	Producción de oxígeno
	Control biológico de plagas		

Fuente: MA 2003.

Esta área genera una parte muy importante del producto interno bruto (PIB) nacional (17.7% en 2009) (INEGI 2011*a*), alberga a una población numerosa que tiene un gran impacto sobre el ambiente y que, a su vez, es altamente demandante de SE, cada vez son más difíciles de proveer (Ezcurra 1990). Además, sus ecosistemas tienen una larga historia de utilización, transformación y deterioro ambiental (cuadro 2) (Sanders *et al.*, 1979, Ezcurra *et al.* 2006, Sheinbaum 2008).

La cuenca de México es un sistema ecológicamente muy diverso, con gran heterogeneidad de paisajes, hábitats y especies, que proporcionaron múltiples SE a distintas civilizaciones prehispánicas. Sin embargo, desde esa época se comenzaron a realizar actividades para transformar su territorio (Sanders 1976, Sanders *et al.*, 1979, Ezcurra 1990). La llegada de los españoles trajo grandes cambios a las formas de apropiación de los recursos naturales, y durante la época colonial las transformaciones al ambiente fueron profundas. La ciudad fue ocupando el antiguo lecho del sistema lacustre y las montañas circundantes, hasta llegar a su estado actual (figura 1) (Garza 2000, Vela 2004, Ezcurra *et al.* 2006, Sheinbaum 2008, Pisanty *et al.* 2009).

En la cuenca de México, y muy especialmente en la Ciudad de México, a lo largo de estos 500 años de transformación profunda de los humedales y lagos, una sobreexplotación de los recursos forestales, un cambio drástico de uso de suelo hacia la producción agropecuaria y un crecimiento urbano desordenado, acompañados de una importante pérdida de biodiversidad. Adicionalmente, como parte del proceso de metropolización (PNUMA 2003, Sobrino 2003), el crecimiento de la ciudad desbordó los límites de la división política, generando una gran zona conurbada con los estados vecino, principalmente el Estado de México e Hidalgo. En la cuenca de México se ubica una de las metrópolis más grandes del mundo, con una población superior a los 20 millones de personas, que coexisten en un espacio de 1 000 km^2 (ONU 2002, Ezcurra *et al.* 2006, UNEP 2007, INEGI 2011*b*).

El proceso acelerado de transformación ha afectado diversos SE, con lo cual se pone en riesgo la sustentabilidad de la ciudad (Ezcurra y Mazari-Hiriart 1996, Ezcurra *et al.* 2006, Cram *et al.* 2008). Actualmente, la generación y el uso de los SE están definidos espacialmente tanto por las características del paisaje como por las actividades humanas (figura 2). Las zonas generadoras de servicios dentro de la entidad se han ido reduciendo drásticamente, mientras que la demanda de los mismos ha aumentado, ocasionando que desde hace muchos años la necesidad de SE en la capital se satisfaga a expensas de otras regiones, que en consecuencia enfrentan altos costos ambientales, sociales y económicos. Un ejemplo de este tipo de procesos es la provisión de agua para toda la Ciudad de México.

Cuadro 2. Cronología de algunos eventos que impactaron significativamente las condiciones ambientales de la Ciudad de México.

Época Prehispánica (antes de 1519)	Conquista y colonia (1519)	Independencia y México independiente (1810)	Revolución y México contemporáneo (1910)	Actual (2015)
Surgimiento de agricultura, irrigación y cultivo en chinampas	Construcción de infraestructura urbana de estilo español, particularmente de drenaje que da inicio al proceso de desecación de la zona lacustre	Construcción de fábricas y ferrocarriles	Reforma agraria, se crean ejidos con los cuales se incrementa el potencial de impacto ambiental por la falta de regulación al respecto	
Uso de recursos acuáticos para alimentación	Introducción de flora y fauna exótica y domesticada (trigo, cebada, alfalfa, caña de azúcar, ganado de diferentes tipos etc.)	Fusión de distintos poblados en una sola urbe	Desecación de lagos	Contaminación generalizada del agua, suelo y aire
Poblados en márgenes de lagos	Zonas de cultivo y pastoreo	Intensificación de actividades productivas (ganadería, agricultura, explotación forestal)	Explotación de agua subterránea	Actividad industrial y comercial
Construcción de infraestructura hidráulica de separación de aguas salobres del área de Texcoco, con el agua dulce del lago de México	Extracción intensiva de madera		Hundimiento de la ciudad	
	Inicia desecación de cuerpos de agua		Aumento del área urbana, inmigración masiva del campo a la ciudad	
	Expansión urbana		Desarrollo industrial, metropolización y consolidación	

Fuente: Ezcurra 1990, García-Martínez 2007, García-Moll 2007.

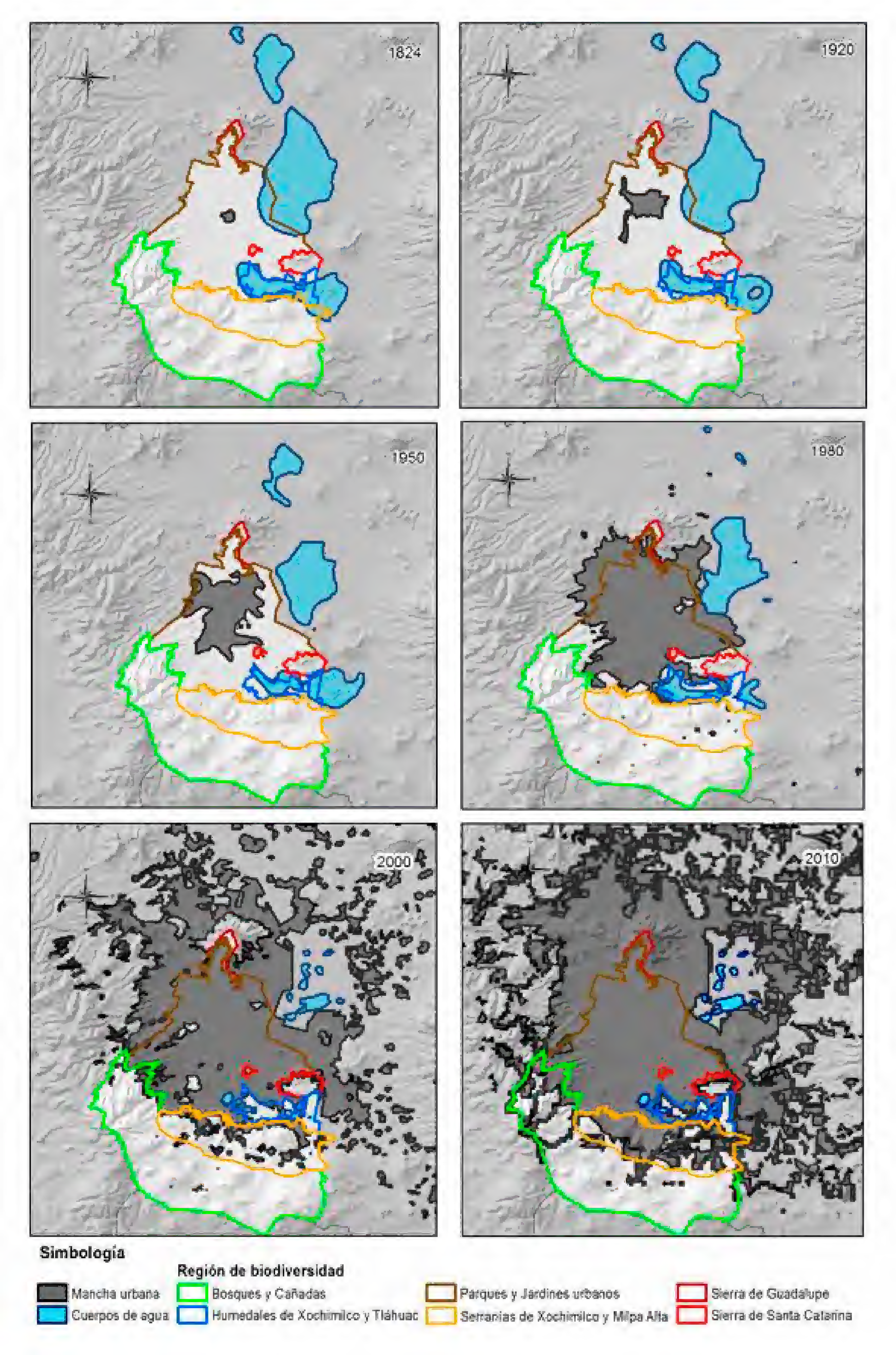


Figura 1. Evolución histórica de la pérdida de los lagos y humedales de la cuenca de México. Fuente: elaborado con información de la CONAGUA.

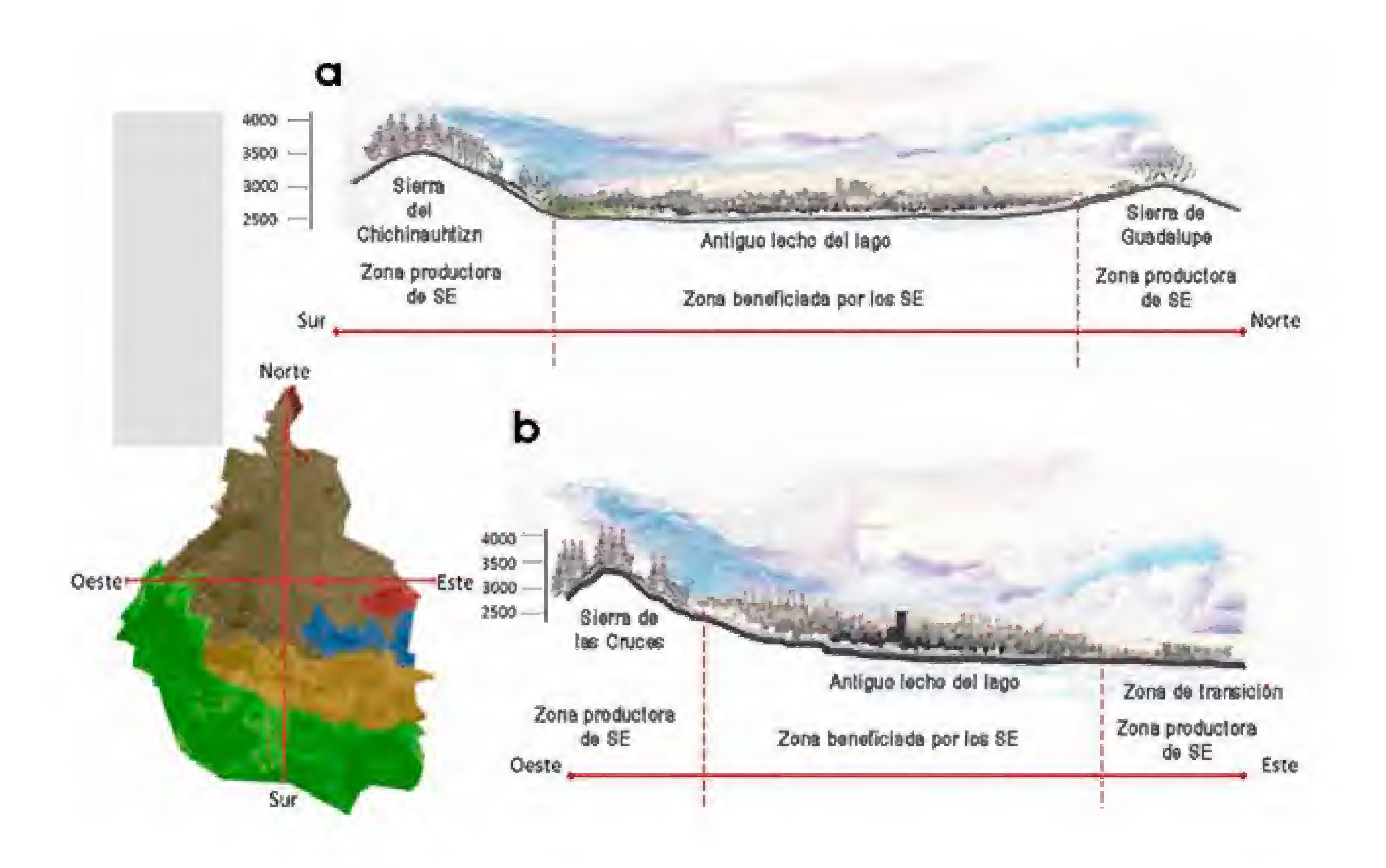


Figura 2. Ubicación de las zonas productoras y consumidoras de SE, dentro de la Ciudad d México: (a) Perfil norte-sur; (b) Perfil este-oeste. Fuente: ilustraciones del Laboratorio de Ecosistemas de Montaña, Facultad de Ciencias, UNAM.

Referencias

Balvanera, P. y H. Cotler. 2007. Los Servicios Ecosistémicos y la toma de decisiones: retos y perspectivas. *Gaceta ecológica* 84-85:117–123.

Carpenter, S., H. Mooney, J. Agard *et al.* 2009. Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106:1305–1312.

Cram, S., H. Cotler, L.M. Morales y I. Sommer. 2008. Identificación de los servicios ambientales potenciales en el paisaje urbano del Distrito Federal. *Boletín del Instituto de Geografía* 5000:81-104.

Daily, G.C. y P.A. Matson. 2008. Ecosystem services: From theory to implementation. *Proceedings of the national academy of sciences of the United States of América* 105:9455-9456.

Ezcurra, E. 1990. *De las chinampas a las megalópolis. El medio ambiente en la cuenca de México.* FCE. México.

Ezcurra, E. y M. Masari-Hiriart. 1996. Are megacities viable? A cautionary tale from Mexico City. *Environment* 38(1):6-15 26-35.

Ezcurra, E., M. Mazari, I. Pisanty y A. Aguilar. 2006. *La Cuenca de México*. FCE, México.

García-Martínez, B. 2007. Conquista (Siglo XVI, a partir de 1519). Cambios y continuidades. Arqueología Mexicana. En: <*http://www.arqueomex.com/S2N3nColonia86.html*>, última consulta: 7 de marzo de 2013.

García-Moll, R. 2007. Preclásico temprano y medio (2500-400 a.C.). Las primeras sociedades agrícolas. Arqueología mexicana. En: <*http://www.arqueomex.com/S2N3nPreclasico86.html*>, última consulta: 7 de marzo de 2013.

Garza, G. 2000. Ámbitos de expansión territorial. Pp. 237-246. En: *La Ciudad de México en el fin del segundo milenio*. C. Garza (coord). COLMEX/ GDF, México.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2011*a*. México en cifras. Información nacional, por entidad federativa y municipios. En: <*http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/*>, última consulta: 04 de marzo de 2013.

——. 2011*b*. Cuaderno estadístico de la zona metropolitana del Valle de México. En: <*http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/perspectivas/perspectiva-df.pdf*>, última consulta: 7 de marzo de 2013.

MA. Millenium Ecosystem Assessment. 2003. Ecosystem and their services. pp. 49-70. En: *Ecosystems and human well-being: A Framework for Assessment*. J. Alcamo *et al.* Island Press, Washington, D.C.

——. 2005. Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis. World Resources Institute.

Mooney, H. y P. Ehrlich. 1997. Ecosystem services: a fragmentary history. Pp. 11-19. En: *Nature's Services*. G.C. Daily, (eds.), IslandPress, Washington, DC.

Pisanty, B.I., Masari, I.M., Ezcurra, E., *et al.* 2009. El reto de la conservación de la diversidad en zonas urbanas y periurbanas. pp. 719-759. En: *Capital Natural de México*, Vol. II: Estado de Conservación y tendencias de cambio. R. Dirzo, R. González, e I. March (eds.). CONABIO, México.

PNUMA. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 2003. América Latina y el Caribe Perspectivas del Medio Ambiente. En: <*http://www.pnuma.org/deat1/pdf/GEO%20ALC%202003-espanol.pdf*>, última consulta 6 de marzo de 2013.

Sanders W.T. 1976. *The Agricultural History of the Basin of Mexico*. P.p 101-159. En: The Valley of Mexico: Studies in Prehispanic Ecology and Society. E. R. Wolf (ed.)

Sanders W. T, Parsons. J.R. y Stanley R.S. 1979. *The Basin of Mexico: Ecological Processes in the Evolution of a Civilization*. New York Academic Press.

Sheinbaum, C. 2008. *Problemática ambiental de la Ciudad de México: Diagnóstico y experiencias de gestión 2001-2006*. Limusa, México.

Sobrino, L.J. 2003. Zonas metropolitanas en México en 2000: conformación territorial y movilidad de la población ocupa. *Estudios demográficos y Urbanos* 18 (3):461-507.

ONU. Organización de las Naciones Unidas. 2002. *World urbanization prospects*. The 2001 Revision, ONU. Nueva York.

UNEP. United Nations Environmental Program. 2007. Annual report. UNEP.

Vela, E. 2004. La Cuenca de México a vuelo de pájaro. *Arqueología Mexicana* 12(89):82-87.

Servicios de soporte

Teresa González Martínez
Irene Pisanty Baruch
Lucía Almeida Leñero
Marisa Mazari Hiriart

Entre los servicios ecosistémicos (SE) de soporte se encuentran la existencia del hábitat, el ciclo del agua, la productividad primaria, los ciclos biogeoquímicos, la formación y retención de suelo y la producción de oxígeno (MA 2003*a*). Los servicios de soporte son el conjunto de procesos ecológicos necesarios para la generación de los otros SE (regulación, provisión y culturales); fungen como parte medular de los sistemas que sustentan la vida. A pesar de la relevancia de los servicios de soporte los beneficios que provienen de ellos son indirectos, poco tangibles y de largo plazo, por lo que existe poca conciencia de su importancia. A continuación se describen varios de estos SE, a excepción de los ciclos biogeoquímicos y la producción de oxígeno, pues no existe información específica de estos procesos para la Ciudad de México.

Hábitat

El hábitat -como SE - se refiere a la capacidad de los ecosistemas para brindar sitios donde los organismos realizan sus funciones vitales (alimentación, refugio, reproducción, crecimiento, etc.) esto contribuye a la conservación de la biodiversidad y promueve el establecimiento de distintas especies. Como parte de los servicios de soporte, el hábitat es el escenario que garantiza la continuidad de los procesos evolutivos (Van Der Perk *et al.* 2000, De Groot *et al.* 2002). La fragmentación, la transformación y la pérdida de hábitat se reconoce como la principal causa de la desaparición de poblaciones y la extinción de especies, lo cual afecta el funcionamiento correcto de los ecosistemas y su capacidad para generar los SE. Aparentemente este servicio no tiene un efecto directo en el bienestar humano, en el sentido de que las sociedades se agrupan en sistemas transformados o totalmente artificiales (como las ciudades), pero es necesario para que se generen otros SE requeridos para la vida humana (Chapin *et al.* 2000). Este servicio posibilita la vida silvestre y por ello se relaciona con todos los demás, debido a que los seres vivos son imprescindible para el funcionamiento de los ecosistemas.

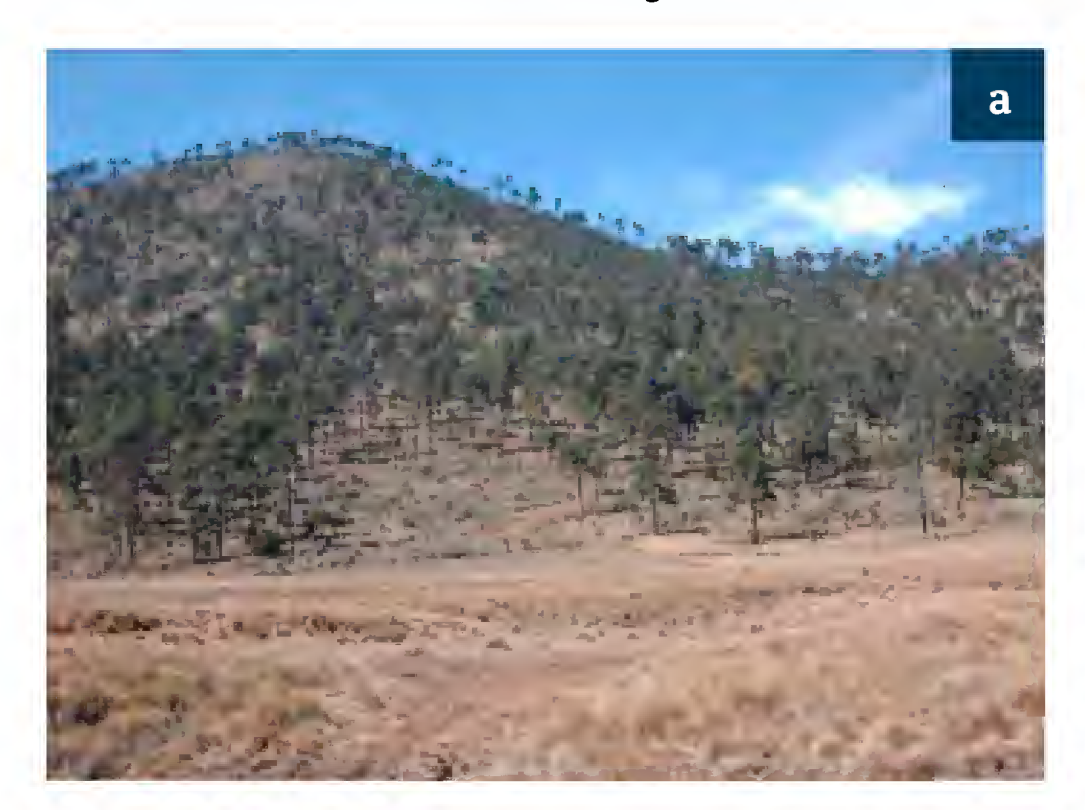
La Faja Volcánica Transmexicana, de la cual forma parte la Ciudad de México, es una zona templada que alberga una alta diversidad específica y ecosistémica (Sanders *et al.* 1979, Ceballos y Galindo 1984, Rzedowski y Calderón de Rzedowski 1989). Es el hábitat del 2% de la biodiversidad mundial, y del 12% de especies de flora y fauna de México (SMA 2007). En las partes más altas de las sierras predominan los zacatonales alpinos en los que dominan gramíneas como *Muhlembergia* sp., bajando altitudinalmente se encuentran bosques de coníferas, de pinos (*Pinus* spp.), y en las partes inferiores y más húmedas se encontraban bosques mesófilos, con abundancia de encinos. En el pie de monte se encuentran encinares (*Quercus* spp.), mientras que en los cerros bajos y las partes planas se presentan matorrales, pastizales, praderas salinas y bosque de

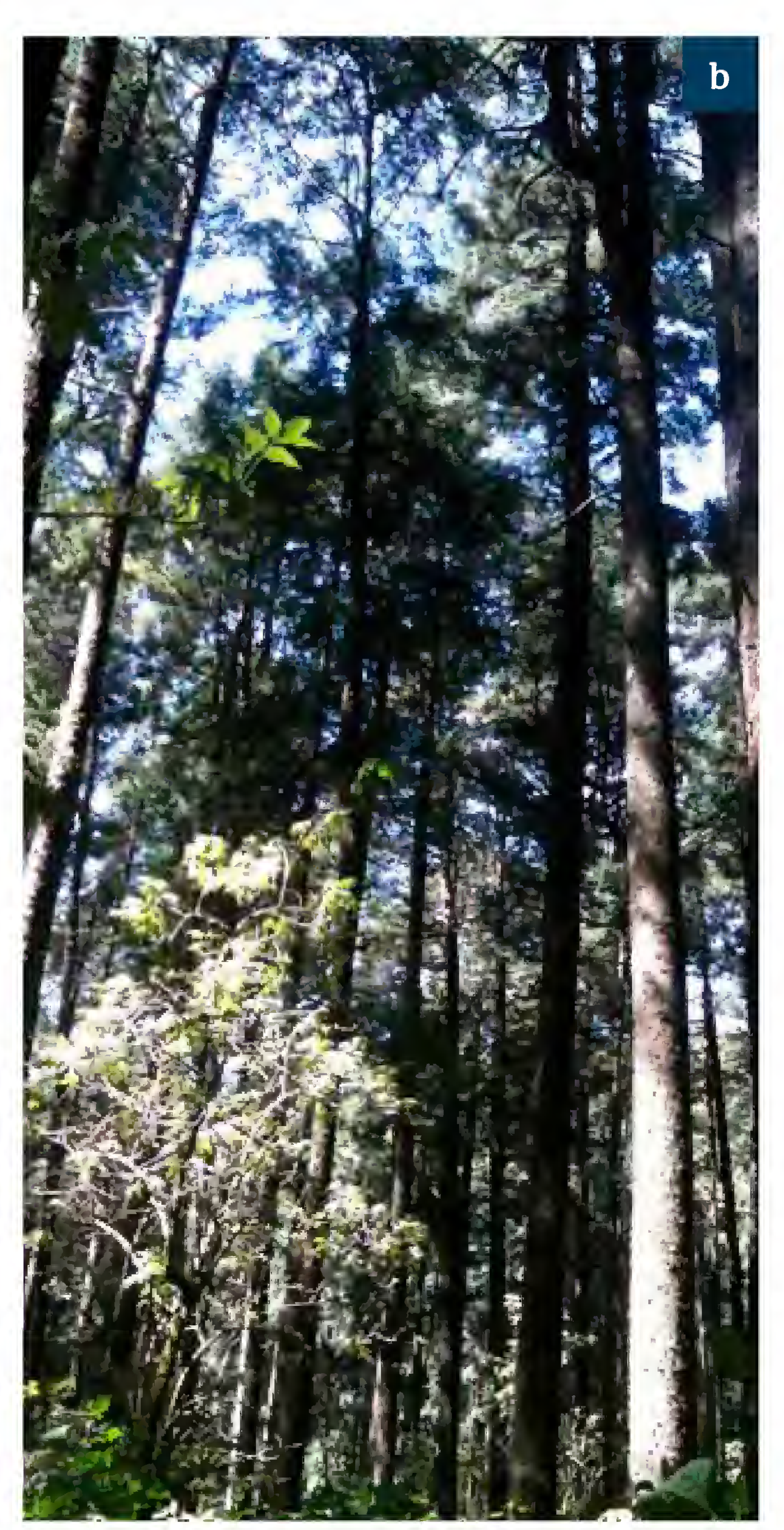
González-Martínez, T.M., I. Pisanty, L. Almeida-Leñero y M. Mazari-Hiriart. 2016. Servicios de soporte. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.28-49.

enebros o juníperos (*Juniperus* spp.) (Ezcurra 1990, Almeida-Leñero 1997, Almeida-Leñero *et al.* 2004, Ezcurra *et al.* 2006).

El territorio de la ciudad está dividido en suelo urbano y suelo de conservación (SC). Este último ocupa 87 297 ha (59% de la entidad), de las cuales 37 452 ha son bosques templados, 17 729 ha son de uso agrícola, 13 352 ha son pastizales, 4 175 ha son matorrales y 4 175 ha tienen otros usos, entre ellos el urbano (figura 1, SMA 2006). El SC alberga a 1 954 especies de flora y fauna, distribuidas en diversos ecosistemas y hábitats (UAEM y SMA 2010). Se puede consultar información más detallada en relación a este tema en el capítulo de medio físico de esta obra ("Delimitación del área de estudio y regionalización").

Al igual que el resto de la cuenca de México, el SC enfrenta graves problemas de deterioro que atentan contra su capacidad de proporcionar





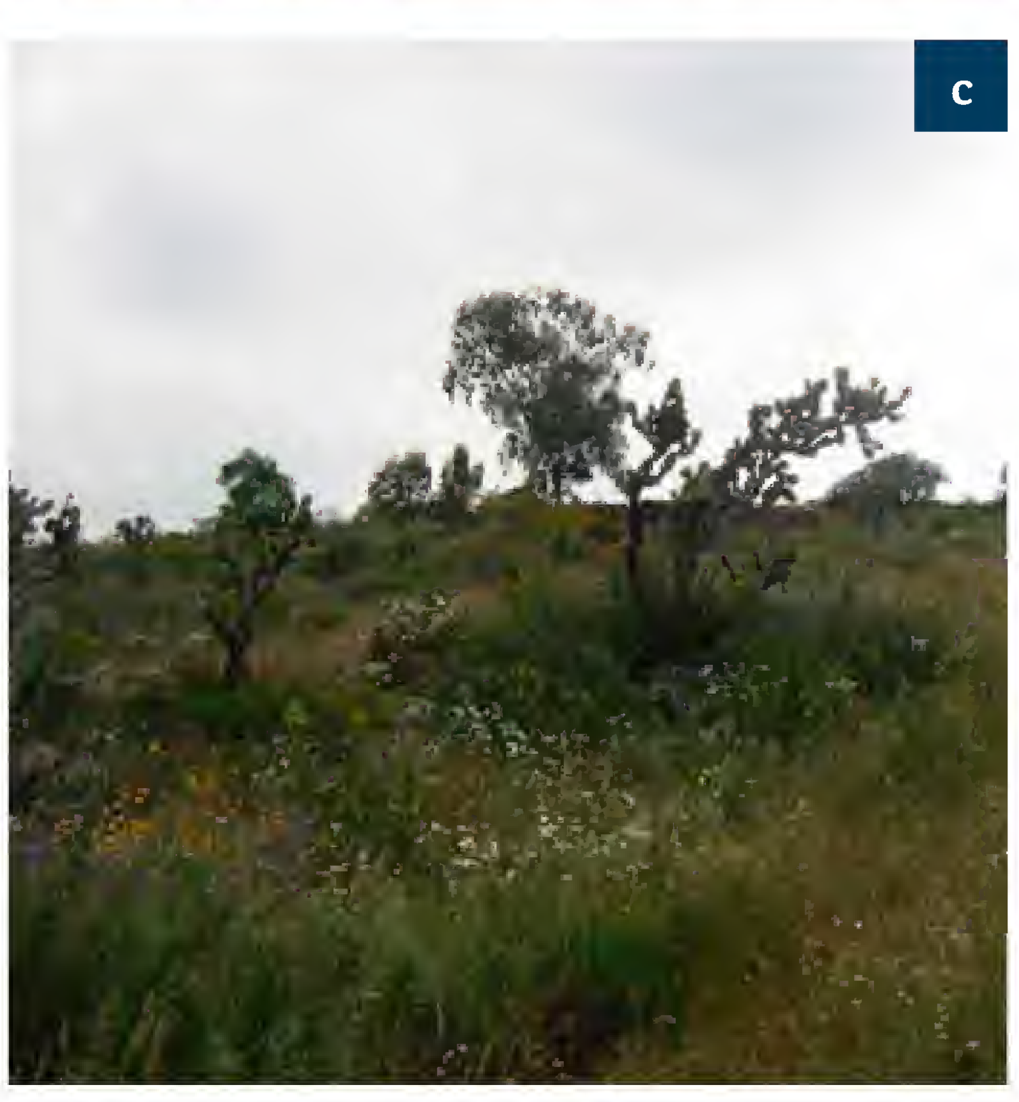


Figura 1. Ecosistemas naturales que sirven de hábitat a la flora y fauna de la Ciudad de México: *a*) pastizal natural, *b*) bosque templado, *c*) matorral. Fotos: Alya Ramos e Inti Burgos.

hábitat, como son la deforestación por sobreexplotación, plagas forestales, incendios y apertura de espacios para la producción agropecuaria (Saavedra *et al.* 2011), a lo que hay que añadir el crecimiento urbano desordenado.

La cuenca de México desde hace más de cinco siglos ha presentado asentamientos humanos densamente poblados (Sanders *et al.* 1979), que ejercían presión sobre los recursos y SE de los que dependían. La densidad poblacional se incrementó drásticamente desde mediados del siglo pasado (INEGI 2015), al grado que en la década de los ochenta el entonces Distrito Federal se convirtió en el punto central de la primera megalópolis del continente americano (Ezcurra y Mazari-Hiriart 1998). A partir de entonces, los bosques y las tierras de cultivo, muchas de las cuales ya estaban alteradas en mayor o menor medida, desaparecieron vertiginosamente (Castro 2010).

En 1950, el área urbana y periurbana incluía una vasta proporción de campos de cultivo y pastoreo, junto con numerosos terrenos baldíos y espacios públicos. Este esquema urbano se modificó radicalmente y dio paso paulatinamente a una urbanización desordenada, incentivada por la especulación inmobiliaria y los asentamientos irregulares. Bajo estas condiciones, el crecimiento urbano se produjo a expensas de las zonas rurales y periurbanas (Ezcurra *et al.* 2006).

El cambio de uso de suelo ocasionó la pérdida de 8 590 ha de cubierta forestal entre 1970 y 2005, lo que corresponde a 10% del SC. Las delegaciones con mayor cambio de uso de suelo durante ese periodo fueron Tlalpan, Milpa Alta, Cuajimalpa de Morelos y Xochimilco (GDF 2012). Como se observa en la figura 2, la expansión de la mancha urbana ha ido ganando terreno y consumiendo superficies que en otros tiempos fueron ecosistemas forestales y de otros tipos (por ejemplo lacustres) que servían de hábitat para diversas especies.

Los bosques templados han sido intensamente alterados, lo que provoca que las masas forestales sean cada vez menos densas y extensas. Los bosques mesófilos desaparecieron, al grado de que Melo y Alfaro (2000), en su revisión de la vegetación de la cuenca de México, ya no reportan este tipo de ecosistema, cuya distribución original se concentraba en cañadas y laderas húmedas (Rzedowski 1969, 1975, Ezcurra *et al.* 2006). Las delegaciones con mayor pérdida de ecosistemas forestales son: Xochimilco, Gustavo A. Madero y Tláhuac, que prácticamente no tienen bosques conservados, en tanto que Tlalpan y Milpa Alta presentan bosques poco densos pero menos perturbados (GDF 2012).

Otro factor que altera los sitios que brindan hábitat es la utilización de especies introducidas con la intención de reforestar la cuenca, como los eucaliptos (*Eucalyptus* spp.), el pirul (*Schinus molle*) y la casuarina (*Casuarina cunninghamiana*), lo que genera el riesgo de que se pierda la fauna asociada a las plantas nativas que les proveían de alimento y refugio. Esta situación es especialmente grave en el arbolado de alineación y en los parques urbanos (figura 3), en donde las especies introducidas de árboles representan 70% del total (PAOT 2010).

Una pequeña proporción de los lagos originales ha sobrevivido, y de ellos solamente Xochimilco y Tláhuac permanecen realmente como zonas chinamperas. Consecuentemente, en esta zona han desaparecido muchas especies de plantas acuáticas (que habitaban en lagos y ríos), como la punta de flecha (*Sagittaria demersa*) y la ninfa (*Nymphaea odorata*) (Lot y Novelo 2004); especies subacuáticas (tolerantes a la inundación) como el trébol de agua (*Marsilea mollis*) (figura 4); y especies halófilas (tolerantes a la salinidad, que antes habitaban suelos con alto contenido de sales en las inmediaciones de algunos lagos), como el polipodio (*Polypodium californicum*) y el romero (*Suaeda nigra*), ente otras (Arreguín-Sánchez *et al.* 2009). En las últimas dos décadas se registraron entre 30 y 60% de extinciones de las especies de la cuenca de México que componen la flora acuática vascular estricta (especies de plantas que solo habitan en el agua) (Novelo y

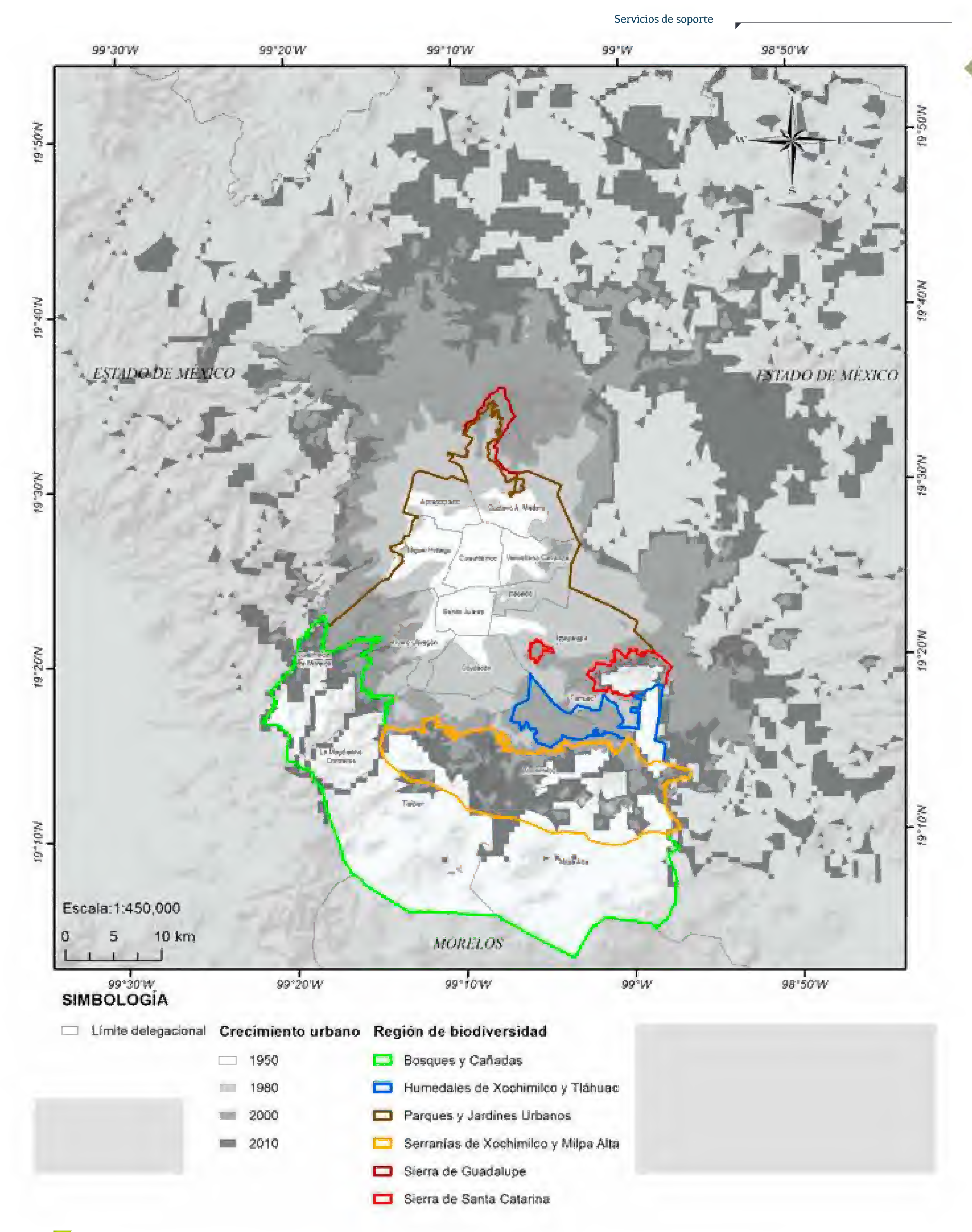


Figura 2. Cambio en el crecimiento urbano de la Ciudad de México y superficie actual del suelo de conservación. Fuente: elaboración propia con información del GDF.

Figura 3. Arbolado en el Parque de los Venados, en la delegación Benito Juárez, dominado por especies introducidas como el bambú (*Phyllostachys* sp.). Foto: Inti Burgos.

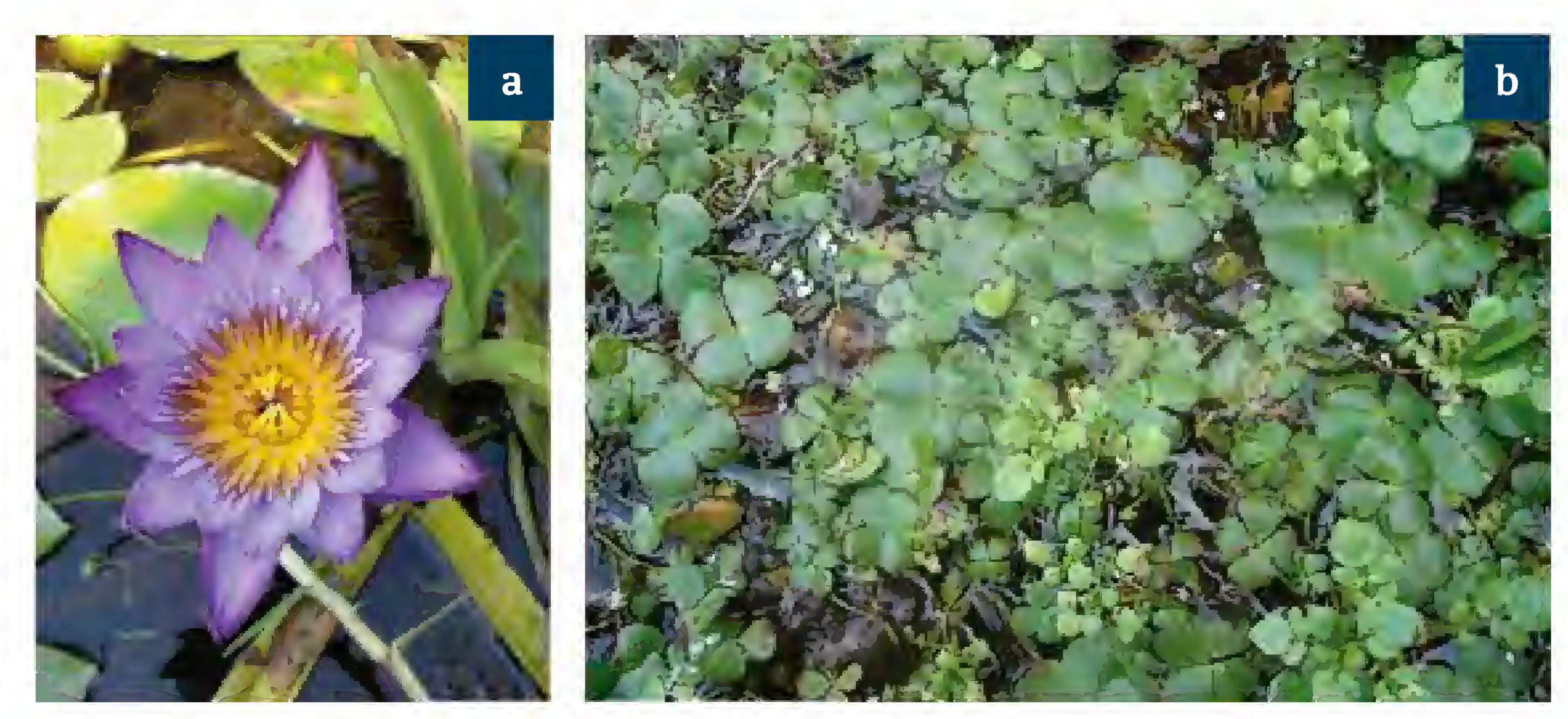


Figura 4. Especies que prácticamente han desaparecido de los ecosistemas acuáticos de la ciudad: *a*) ninfa (*Nymphaea odorata*), *b)* trébol de agua (*Marsilea molis*).Fotos: Carlos Galindo Leal (a), Jaime Raúl Bonilla Barbosa (b)/Banco de imágenes de CONABIO.

Gallegos 1988, Rzedowski y Calderón de Rzedowski 1989, Lot *et al*. 1999, Lot y Novelo 2004).

La zona lacustre era hábitat de una fauna muy rica. Las aves acuáticas (residentes y migratorias), los peces, anfibios y reptiles asociados a los cuerpos de agua eran además una fuente importante de proteínas para los grupos prehispánicos, al igual que algunos insectos (Halffter y Reyes Castillo 1975, Rojas-Rabiela 1985, Niederberg 1987). Esta diversidad animal se perdió conforme sus hábitats se secaron y contaminaron.

De acuerdo con la regionalización de la ciudad adoptada en este estudio, el servicio de hábitat se da principalmente en los Bosques y Cañadas, Humedales de Xochimilco y Tláhuac, Serranías de Xochimilco y Milpa Alta, y las Sierras de Santa Catarina y Guadalupe, que es donde aún se encuentran relictos de los ecosistemas originales.

Conclusión

El territorio de la Ciudad de México como parte de la Faja Volcánica Transmexicana permite proporcionar una gran variedad de hábitats terrestres y acuáticos asociados con la diversidad ecosistémica que lo caracteriza. Sin embargo, los procesos de deterioro ambiental (que incluyen de forma relevante la fragmentación extrema de los hábitats) causados por el cambio de uso de suelo, el crecimiento urbano, las actividades productivas y un manejo inadecuado de las áreas naturales y de las áreas verdes urbanas, así como de los cuerpos de agua, han desencadenado efectos negativos de consecuencias graves, dado que este servicio es fundamental para la existencia de otros SE.

Ciclo del agua

El ciclo del agua es un SE que permite la circulación de la misma en la biósfera gracias a la precipitación, la evapotranspiración, la infiltración y el escurrimiento. Esto mantiene el equilibrio de los distintos procesos que son necesarios para el funcionamiento de los ecosistemas, debido a que el agua es indispensable para los procesos fisiológicos de todos los organismos vivos y para que se lleven a cabo procesos químicos y físicos como el transporte de nutrientes (Savé *et al*. 2005).

Este servicio se relaciona estrechamente con la generación de otros como la provisión de agua, la regulación de su calidad y los flujos de la misma (Balvanera y Cotler 2009). Esto implica que este proceso tiene un efecto indirecto sobre el bienestar humano al permitir la existencia y el movimiento del agua, que es necesario para todas las actividades humanas.

El funcionamiento natural del ciclo hidrológico en la ciudad se determina por las características biofísicas y climáticas de la cuenca de México. En el pasado, en esta cuenca endorreica (es decir que todos los escurrimientos van hacia un mismo sitio que no tiene salida), el agua de lluvia escurría por 45 ríos y diversos canales permanentes o intermitentes, que alimentaban un amplio sistema lacustre compuesto por cinco lagos intercomunicados, que cubrían una superficie de 1 500 km^2 (figura 5) (Legorreta 2006).

Sin embargo, con el paso del tiempo estas características cambiaron significativamente. En la época prehispánica, la disponibilidad permanente de agua permitió el florecimiento de importantes culturas en esta región. Uno de los factores promotores del desarrollo de los mexicas fue su nexo con el sistema lacustre, que favoreció el desarrollo de la agricultura en chinampas (parcelas agrícolas temporales construidas con cieno lacustre sobre el agua y separadas entre sí por canales, Delgadillo 2009). A mediados del siglo XV, esto permitió el florecimiento de la gran Tenochtitlán, que fue el asentamiento urbano occidental de mayor densidad poblacional, al grado de que a finales del siglo XV se tenía alrededor de un millón y medio de habitantes (Sanders *et al*. 1979, Ezcurra *et al*. 2006). El manejo del agua fue un gran reto para los pobladores desde la época prehispánica, quienes para controlar las

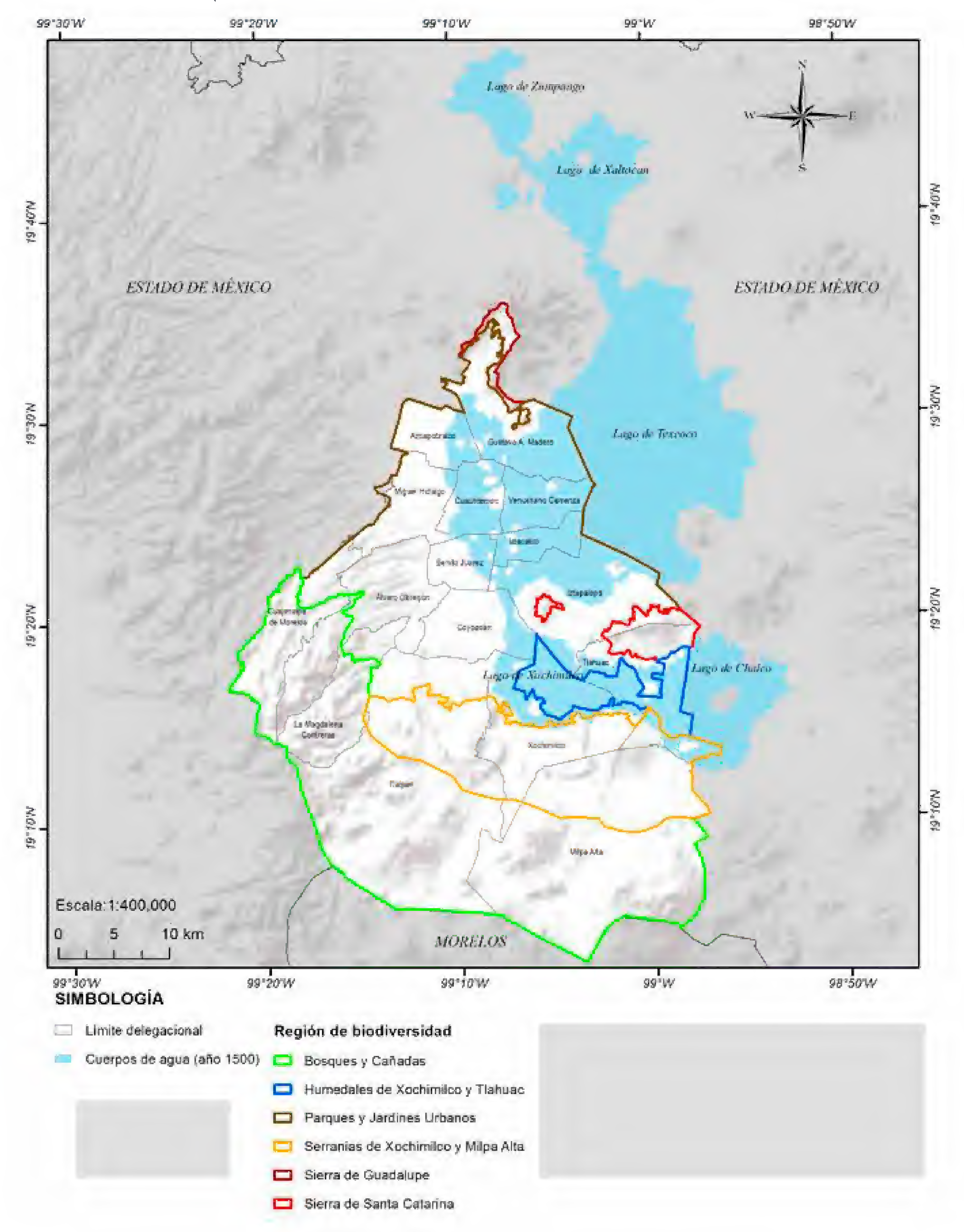


Figura 5. Mapa (recreación) donde se aprecian los cinco lagos principales del sistema lacustre de la cuenca de México en el año 1500. Fuente: elaboración propia con información de Tomás Filsinger 2009.

frecuentes inundaciones e incrementar las áreas agrícolas desarrollaron, además de las chinampas, diques, albarradas, calzadas, embarcaderos, canales y puentes. El complejo sistema de obras hidráulicas les permitió aprovechar los recursos hídricos de la zona, así como mitigar en gran medida los problemas que enfrentaban (Aréchiga 2004).

Con la llegada de los españoles y el establecimiento de su modelo de desarrollo, en la época colonial se comenzó a afectar seriamente el ciclo hidrológico de la cuenca. El modelo urbano importado por los españoles llevó a que la mayor parte de los lagos fueran desecados artificialmente mediante obras de ingeniería, pues las carretas que usaban los españoles no eran compatibles con los cuerpos de agua que caracterizaban a Tenochtitlan. En 1607 comenzó la construcción del tajo de Nochistongo, un túnel de 6.5 km de largo que buscó desde ese entonces drenar la cuenca en época de lluvias (Valek 2000).

Asimismo, la vegetación, que juega un papel importante en el mantenimiento del equilibrio de los procesos de escurrimiento e infiltración del agua, se alteró por la deforestación originada por las grandes cantidades de madera para la construcción de la llamada Ciudad de los Palacios (Ezcurra 1990). En este periodo se extrajeron aproximadamente 25 000 árboles anualmente, lo que afectó especialmente a las partes bajas de las laderas y el piedemonte de las montañas (Sheinbaum 2008). Del mismo modo, se eliminó la cubierta forestal para realizar actividades agrícolas que incluyeron la producción de forrajes para alimentar al ganado proveniente de Europa (Ezcurra *et al*. 2006).

Los cultivos y la modificación del tipo de agricultura, que incluía el uso de arados, tuvieron un gran impacto ambiental (Ezcurra 2003, 2005 y Ezcurra *et al*. 2006). Con estos cambios de uso del suelo, los volúmenes de agua que escurrían en la época de lluvias aumentaron considerablemente debido a la menor retención del agua, por lo que las inundaciones incrementaron (Ezcurra 1990). Por el contrario, y como parte de su progresiva desecación, en la época de estiaje los ríos disminuyeron su cauce (Escolero *et al*. 2009). Las inundaciones siguen afectando a la Ciudad de México en la actualidad, y la desecación de los cuerpos de agua es, como ya se ha dicho, casi total. Esta situación contradictoria, característica de una urbe originalmente lacustre en la que el agua no escaseaba, se agudiza con el aumento de las zonas deforestadas y de la mancha urbana (Izazola 2001, Lankao 2010, Romero 2010).

A partir de los años sesenta el volumen de agua comenzó a ser insuficiente para satisfacer las necesidades de los habitantes de la ciudad, lo que generó un problema de sobreexplotación del agua subterránea (figura 6). Una de las consecuencias que esto ha generado es el hundimiento diferencial de la ciudad (Marsal y Mazari 1959, Carrillo 1969). Esto ocurre debido a que los volúmenes de infiltración del agua fueron superados por los volúmenes de extracción por bombeo. El problema del hundimiento de diferentes partes de la ciudad continua agravándose, y no es privativo de las zonas centrales donde se manifestó primero, como en el primer cuadro de la ciudad, si no que también se presenta en las zonas urbanizadas desarrolladas sobre los lechos de lagos de más reciente desecación, como es el caso de la zona de Chalco-Xochimilco (Ezcurra y Mazari-Hiriart 1998, Izazola 2001, Mazari-Hiriart y Mazari-Menzer 2008). Ahí, el hundimiento ha causado que el drenaje quede por encima de las zonas densamente saturadas de casas y que frecuentemente haya severas inundaciones con aguas negras que se desbordan en la época de lluvias.

En el 2015, la tasa de extracción de agua subterránea reportada en datos oficiales es casi tres veces mayor que la tasa de recarga por infiltración (Burns 2009). Con este severo desbalance, el agua es ahora insuficiente en la cuenca en general y en la ciudad en particular, desde el punto de vista urbano (insuficiencia de agua para uso humano) (Spring 2011) como

del ambiental (falta de caudal ecológico, que se refiere a la cantidad y calidad de los flujos de agua naturales necesaria para mantener los ecosistemas acuáticos en estado óptimo) (Mazari-Hiriart *et al*. 2014). Esta situación se ha tratado de solucionar con la importación de agua de otras cuencas (Lerma y Cutzamala, Estado de México) para satisfacer las necesidades crecientes de la población capitalina. La costosa importación de agua destinada al uso humano no contribuye al restablecimiento del equilibrio hídrico de la cuenca y, por lo contrario, afecta el de regiones que no pertenecen a la Ciudad de México, de modo que se han alterado las cuencas de origen del líquido, además del subsecuente derrame de aguas residuales que escurren hacia la vertiente del golfo de México (Izazola 2001, Maderey y Jiménez 2001, Mazari-Hiriart *et al*. 2001 *a* y *b*).

La mayoría de los ríos más importantes se encuentran entubados y canalizados hacia afuera de la cuenca (Rojas-Rabiela 2004). Los cuerpos de agua naturales han casi desaparecido, y solo persisten algunos canales chinamperos de Xochimilco (figura 7), Chalco y San Luis Tlaxialtemalco, así como una pequeña sección del Lago de Texcoco y parte de la laguna de Zumpango, éstos dos últimos ubicados fuera del territorio de la ciudad (Legorreta 2006).

El ciclo del agua es regulado por diversas entradas y salidas al sistema que están determinadas por tres componentes principales: la precipitación, el flujo de aguas superficiales y subterráneas, y la evapotranspiración. Debido a que la Ciudad de México se encuentra en una cuenca endorreica, la principal incorporación de agua al ciclo hidrológico de la cuenca es por la lluvia. En la ciudad varía entre 470 a 1 140 mm anuales, de acuerdo con un gradiente altitudinal que se ubica en dirección noreste-sureste (figura 8), por lo que las mayores precipitaciones se presentan en las sierras de las Cruces y del Ajusco (Mazari-Hiriart *et al*. 2000, Jujnovsky 2006).

Actualmente, en la cuenca de México casi 78% del agua que cae como lluvia se evapotranspira y regresa a la atmósfera. Esta cifra se encuentra ligeramente por encima de la media nacional y se explica por las características de la vegetación que corresponde a bosques tem-

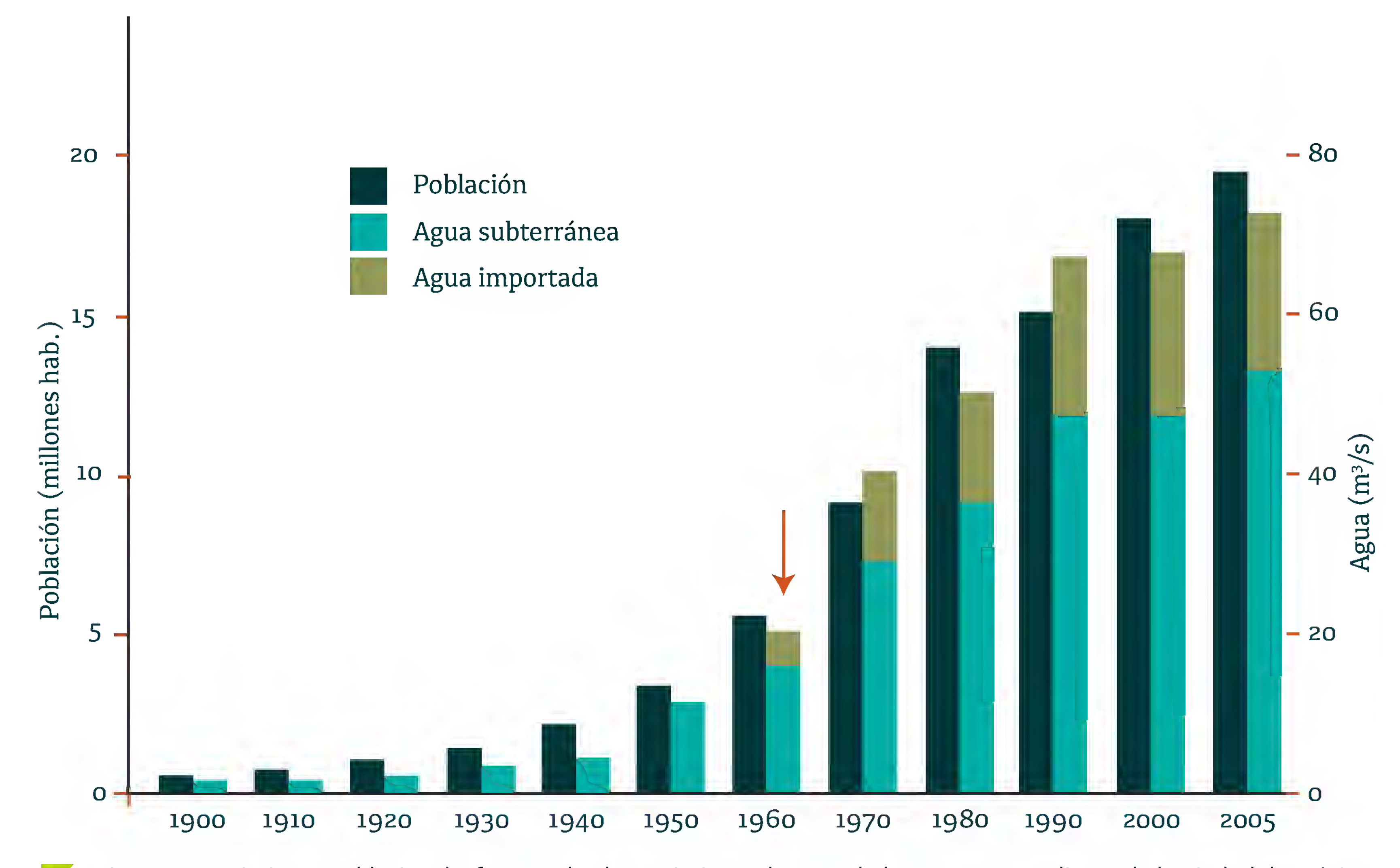


Figura 6. Crecimiento poblacional y fuentes de abastecimiento de agua de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM). Fuente: actualizado de Mazari-Hiriart y Mazari-Menzer 2008.



Figura 7. Sistema de chinampas en Xochimilco, uno de los últimos ecosistemas acuáticos en la entidad. Foto: Adalberto Ríos Szalay/Banco de imágenes de CONABIO.

plados y matorrales, cuyas tasas de evapotranspiración son altas, y por la pérdida de vegetación de éste y otros tipos, que hace que este proceso aumente. El alto porcentaje de evaporación disminuye la cantidad de agua disponible para la infiltración y recarga de acuíferos, mientras que la pérdida de vegetación aumenta el escurrimiento superficial, mucho del cual se pierde por el drenaje (CONAGUA 2009). Los valores de estos componentes del ciclo hidrológico se observan en el cuadro 1.

De acuerdo con la regionalización utilizada en el presente estudio, la generación de este servicio es más significativa en las regiones de Bosques y Cañadas, Serranías de Xochimilco y Milpa Alta, y Humedales de Xochimilco y Tláhuac.

Conclusión

El ciclo hidrológico es indispensable para los organismos vivos y para el funcionamiento de los ecosistemas. La cuenca de México ha sido profundamente alterada a lo largo de muchos años y consecuentemente se ha modificado su balance hídrico, a tal grado que el agua ya no es un recurso renovable en esta región, pues es mayor su consumo que su disponibilidad (Ezcurra *et al.* 2006). Paradójicamente, esta zona que fue un sistema lacustre con disponibilidad constante de agua enfrenta ahora condiciones de escasez que llegan a ser severas en el periodo de estiaje (Izazola 2001). Cualquier estrategia de manejo del agua debe incorporar de forma prioritaria la noción de SE, a fin de garantizar un abasto sustentable en lo social, lo económico y lo ambiental. En caso de descuidar este último aspecto, la viabilidad misma de las diferentes zonas de la Ciudad de México se verá cada vez más comprometida, independientemente del grado de urbanización que presenten.

Productividad primaria

La productividad primaria consiste en la fijación de carbono presente en la atmósfera para su utilización como energía química durante el proceso de fotosíntesis realizado por las plantas. Posteriormente, el carbono forma parte de las estructuras celulares, tejidos y órganos. La productividad primaria es un proceso ecológico fundamental, debido a que representa toda la energía producida por los organismos autótrofos (aquellos que pueden producir su propio alimento) por medio de la energía solar, que es almacenada en forma de tejido vegetal (hojas, raíces, tallos, flores, frutos, etc.), y que es consumida por los animales herbívoros y omnívoros (Begon *et al.* 2006, Balvanera y Cotler 2009). Este SE es completamente imprescindible,

Cuadro 1. Valores medios registrados en la cuenca de México para los componentes del ciclo hidrológico (1980-2004).

Precipitación media (hm^3)	Evapotranspiración media (hm^3)	Escurrimiento superficial virgen medio (hm^3)	Recarga media de acuíferos (hm^3)	Importación media de otras cuencas (hm^3)
6 771.20	5 274.19	746.31	750.70	614.95

Fuente: elaboración propia con información de CONAGUA 2009.

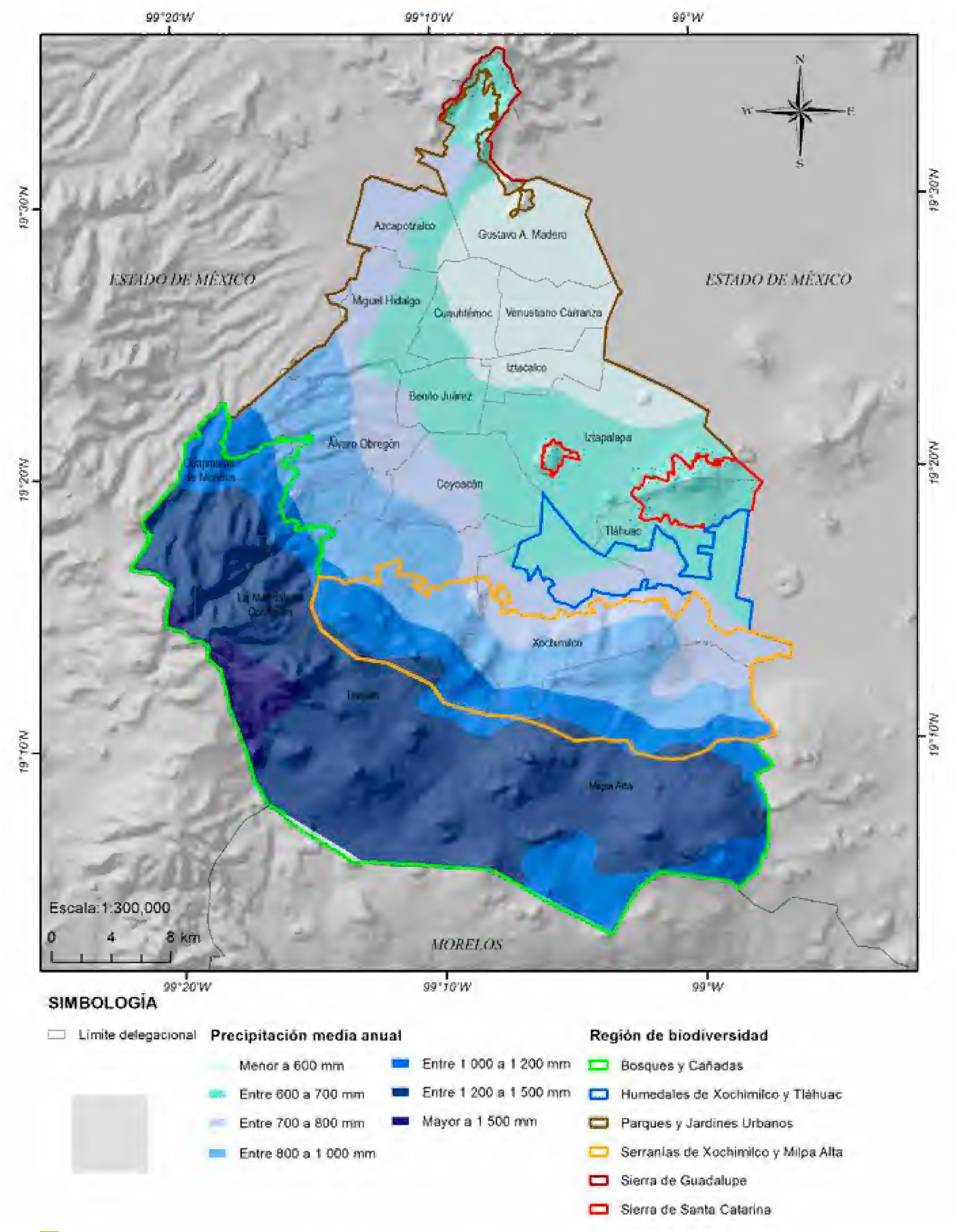


Figura 8. Distribución de la precipitación en la Ciudad de México. Fuente: modificado de Mazari-Hiriart *et al*. 2000.

porque corresponde al nivel inicial de las cadenas y redes tróficas, a partir de las cuales se mantienen vivos todos los organismos de este planeta. Gracias a la productividad primaria, es posible que la energía producida a partir de dióxido de carbono atmosférico y el Sol, sea almacenada en las plantas en forma de carbohidratos (azúcares) y fluya a través de los diferentes niveles tróficos (Cano-Santana 1994).

Este SE es uno de los componentes más importantes para sustentar la vida como la conocemos, pues al fijarse carbono a través de la fotosíntesis se produce alimento para otros organismos y se garantiza el flujo de energía de un nivel trófico a otro. De esta forma, se generan otros SE como los de provisión (los alimentos, la madera, las fibras), así como los de soporte (los ciclos biogeoquímicos y producción de oxígeno). Esta último resulta directamente del proceso fotosintético.

En la superficie de la Tierra las condiciones ambientales son cambiantes, por lo que la producción primaria presenta amplias fluctuaciones en el espacio y en el tiempo, y varía entre los diferentes ecosistemas terrestres en función de factores ambientales reguladores como el clima o el suelo (Whittaker y Marks 1975).

En la Ciudad de México los bosques templados tienen un papel importante en la productividad primaria, debido a que representan alrededor del 43% del SC de esta entidad con condiciones ecológicas más adecuadas y con menos disturbios. De acuerdo con un estudio realizado en la cuenca del río Magdalena, la producción primaria neta aérea (cantidad de materia vegetal aérea, sin considerar las raíces, producida por los árboles en un periodo de tiempo determinado) dentro de los tres tipos principales de bosque templado existentes en la Ciudad de México, asciende a 5.9 mg ha^{-1} $año^{-1}$, en el bosque de pino, en el bosque de oyamel a 10 mg ha^{-1} $año^{-1}$, y en el bosque de encino a 10.5 mg ha^{-1} $año^{-1}$. Los bosques de oyamel y encino se encuentran dentro del rango inferior de los valores promedio que se han encontrado en otros bosques templados de México (10 a 20 mg/ha/año), en tanto que el bosque de pino (figura 9), se encuentra muy por debajo de dichos valores (Delgadillo 2011). Si se considera que la zona en donde se ubican los bosques analizados es una de las mejor conservadas de la ciudad, se puede inferir que los bosques templados presentan en general, una productividad primaria baja en relación a otras zonas del país con los mismos tipos de vegetación, lo que posiblemente se explica por los disturbios antropogénicos a los cuales están sometidos.

Otro estudio sobre productividad primaria se realizó en la Reserva ecológica del Pedregal de San Ángel, en donde la vegetación predominante corresponde a un matorral xerófilo, en el que abundan arbustos y herbáceas, y los árboles son escasos. Para este tipo de vegetación se determinó que la productividad primaria aérea tiene un valor promedio de 13 mg/ha/año (Cano-Santana 1994). Cabe señalar que esta comunidad vegetal se encuentra relativamente bien conservada y que los valores obtenidos no representan al resto de los matorrales existentes en la entidad, cuyas características son muy distintas a las encontradas en esta reserva. No se cuenta con datos de productividad primaria para el resto de los ecosistemas terrestres de la ciudad.

En los ecosistemas agrícolas, la productividad primaria está representada por los volúmenes de producción. En la capital, la producción de vegetales, que se detalla en los servicios de provisión, alcanzó 19 t/ha, durante el año 2009, sin considerar la producción de flores y árboles de navidad (INEGI 2010).

La productividad primaria de los cuerpos de agua, antes de que fueran modificados y desecados, albergaban gran cantidad de algas y plantas acuáticas, que servían de alimento y materia prima a los pobladores, además de ser una fuente de alimento para peces y otros organismos acuáticos (Parsons y Morett 2004). Aunado a la reducción de su superficie, los cuerpos de agua naturales y los embalses artificiales enfrentan un gran problema de contaminación como consecuencia del incremento

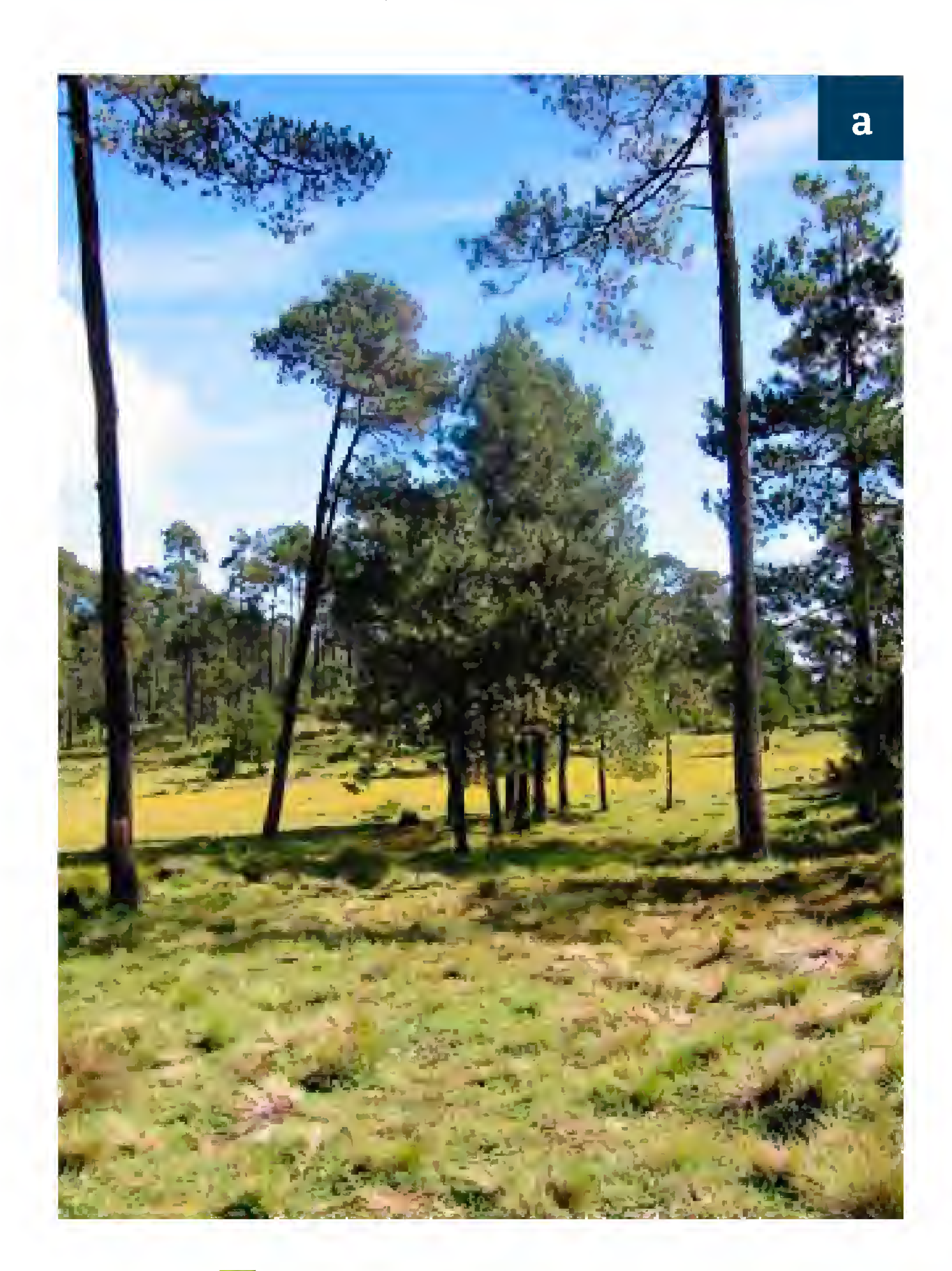




Figura 9. Ecosistemas forestales que contribuyen a la productividad primaria de la Ciudad de México: *a*) bosques templados de *Pinus hartwegii* y *b*) *Abies religiosa* (derecha). Fotos: Inti Burgos y Víctor Ávila.

en los niveles de diversos compuestos, principalmente de fósforo y nitrógeno, los cuales provienen de las escorrentías y de las descargas de aguas residuales (Mazari-Hiriart *et al.* 2000, Solís *et al.* 2006, Zambrano *et al.* 2009), y favorecen un incremento en la productividad primaria por el crecimiento excesivo de fitoplancton (Scheffer y Rinaldi 2000). El aumento de productividad primaria en los niveles más superficiales impide el paso de la luz hacia las zonas más profundas, en las que se suspende la actividad fotosintética y, con ella, la productividad primaria. Este proceso se conoce como eutroficación y puede llevar a la desaparición de diversas especies. En estas condiciones se llega incluso a la ausencia de oxígeno (anoxia), derivadas de la acumulación de sedimentos y de la poca o nula penetración de los rayos solares necesarios para propiciar la actividad fotosintética. Al inicio del proceso de eutroficación se produce un incremento en la cantidad de algas y de cianobacterias (microrganismos acuáticos indicadores de mala calidad del agua) en la capa superficial del lago, que limitan e incluso impiden el intercambio de oxígeno atmosférico con el agua, por lo que se le considera un lago hipertrófico, es decir, con niveles muy altos de nutrientes (Morlan-Mejía 2010). Los lagos y embalses en estado hipertrófico presentan una problemática compleja que radica en procesos que incluyen:

- Modificación de las características originales de los hábitats acuáticos.
- Desplazamiento de las especies deseables (por ejemplo, peces nativos e invertebrados) por otras más tolerantes.
- Producción (por algunas algas) de toxinas nocivas para la salud humana y para la fauna silvestre.
- Aumento de los gastos de operación de los sistemas públicos de tratamiento del agua.
- Generación de problemas de aspecto y olor,

especialmente durante los períodos de proliferación de algas.

- Establecimiento de condiciones anóxicas, especialmente al finalizar las situaciones de proliferación de algas, lo que normalmente da lugar a una mortandad de la flora y la fauna acuáticas originales.

Generalmente estas condiciones están relacionadas con la contaminación antropogénica y el envejecimiento de los lagos (azolvamiento) (Reutter 1989).

En la ciudad existen escasos datos que documenten la productividad primaria en los cuerpos de agua. Se tiene el ejemplo del lago Tezozomoc (figura 10), un embalse artificial urbano ubicado en la delegación Azcapotzalco, que presenta problemas de eutroficación como consecuencia de las descargas de aguas residuales de mala calidad, del aporte de basura por parte de los visitantes y de la materia fecal que aportan los patos, tortugas y peces que en él habitan. Los valores de oxígeno disuelto en la capa superficial del lago son considerablemente altos, lo cual indica que es la zona más productiva, pero disminuyen significativamente en las siguientes capas por la falta de luz (Morlan-Mejía 2010).

De acuerdo con la regionalización utilizada en el presente estudio, el servicio de productividad primaria en los ecosistemas terrestres se mantiene en condiciones aceptables dentro de los bosques templados ubicados en las regiones Bosques y Cañadas, Serranías de Xochimilco y Milpa Alta, y Humedales de Xochimilco y Tláhuac. En cambio, los cuerpos de agua ubicados en las regiones Parques y Jardines Urbanos, presentan una productividad elevada ligada a procesos de eutroficación, que tienen efectos negativos sobre los ecosistemas y los humanos.

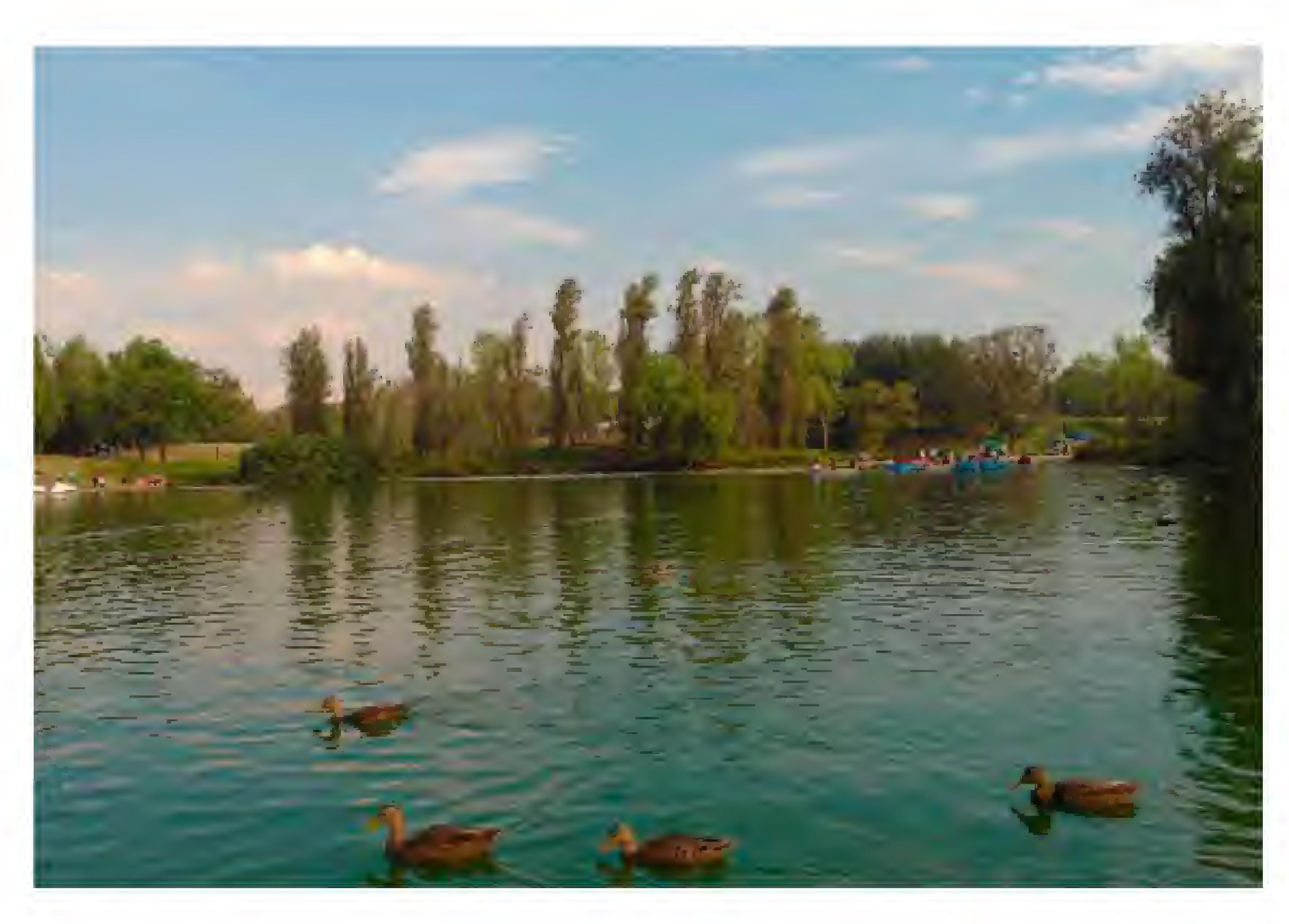


Figura 10. Lago del parque Tezozomoc, un cuerpo de agua artificial en estado de eutroficación, con alta productividad primaria. Foto: Inti Burgos.

Conclusión

La productividad primaria es difícil de cuantificar y la información disponible para la Ciudad de México es escasa e insuficiente. Los datos con los que se cuenta muestran que los ecosistemas forestales tienen una productividad primaria comparativamente baja en relación a otros bosques de México, pero dado que esta información es sumamente escasa y poco representativa, es difícil determinar a qué se debe que sea así. Las condiciones predominantes en los ecosistemas terrestres y acuáticos afectan a la productividad primaria a través de la contaminación de suelos y agua, así como de la deforestación. Incluso la productividad en suelos agrícolas, que en general es mucho más alta que la de los sistemas naturales (Begon *et al.* 2006), puede verse afectada por malas condiciones ambientales.

En el caso de los ecosistemas acuáticos el incremento excesivo de la productividad a nivel superficial promueve el establecimiento de condiciones desfavorables para algunas especies que ahí habitan. Es necesario contar con estudios más representativos y completos, y con un monitoreo sistemático y robusto de la productividad primaria en la ciudad a fin de cubrir los grandes vacíos de información prevalecientes.

Formación y retención del suelo

El SE de formación y retención de suelo es el proceso mediante el cual varios factores como el clima, el relieve, los seres vivos, la roca madre y el tiempo interactúan entre sí, originando como producto el suelo (figura 11, Núñez 1981).

Este proceso es muy importante porque el suelo es el sustrato en el que se desarrolla gran parte de la vida en la Tierra, y puede llevar miles de años, debido a que se origina de la degradación de rocas y minerales (MA 2003*b*). La profundidad de la capa de suelo que cubre la mayor parte de la superficie terrestre varía entre unos pocos centímetros y dos o tres metros. Aunque pueden parecer insignificantes en comparación con la masa del planeta (Thompson y Troeh 1988) estos pocos centímetros son esenciales para que se generen otros SE. En el suelo ocurren la mayor parte de los ciclos biogeoquímicos de los ecosistemas y es

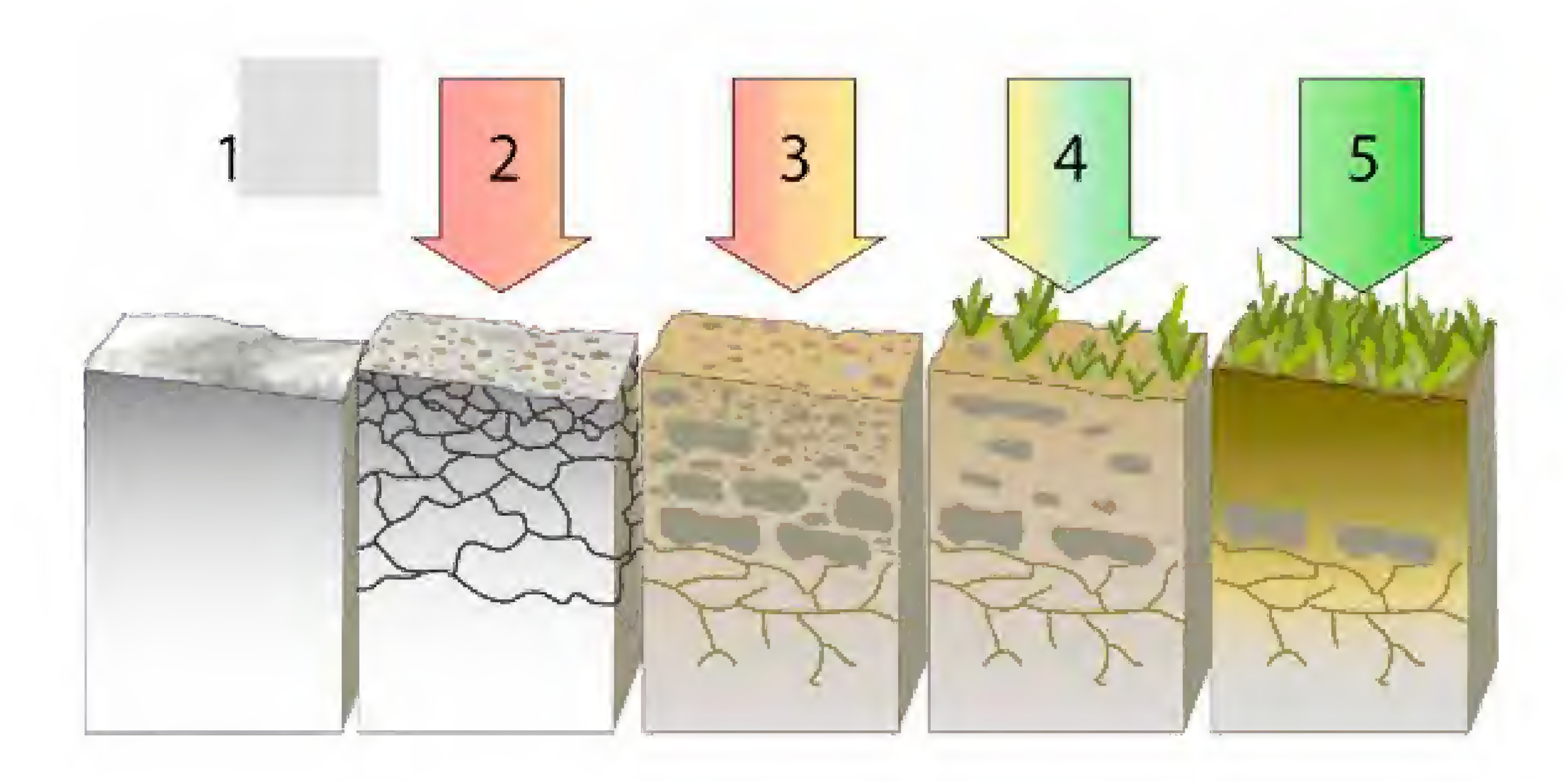


Figura 11. Esquematización del proceso de formación del suelo. 1-Roca madre; 2-Acción mecánica de la atmósfera; 3-Acción química del agua y de sus sales minerales; 4-Acción de los seres vivos; 5-Acción conjunta de materia orgánica e inorgánica. Fuente: Inti Burgos, modificado de Badia 2011.

el soporte y la fuente de suministro de nutrientes para la vegetación. Además, el suelo amortigua y filtra el agua, y contribuye a modular la temperatura y la humedad (PNUMA 2000, Cram *et al.* 2008). Por otro lado, la cubierta vegetal tiene un papel importante en la incorporación de materia orgánica al suelo, así como en su retención (MA 2003*b*).

Las condiciones geomorfológicas y climáticas que promueven la formación y evolución de los suelos en la cuenca de México son diversas. Pueden analizarse tomando en cuenta tres unidades de relieve principales: *a*) planicies lacustres y proluviales (originadas por el acarreo de materiales de ríos) *b*) relieve montañoso y *c*) pie de las sierras (también llamada piedemonte) (Cram *et al.* 2008). Al formarse la sierra del Chichinautzin, hace 700 000 años, la cuenca de México cambió de ser abierta a ser endorreica, pues las montañas circundantes eliminaron las salidas del agua, propiciando la formación de los grandes lagos hacia el centro de su territorio. El valle central (constituido por planicies lacustres y proluviales) se llenó con limos, arcillas y arenas, junto con depósitos volcánicos como ceniza y piedra pómez, lo que dio origen a suelos de arcilla con alta capacidad de compactarse, intercalados con limo de consistencia firme. Los depósitos lacustres cubiertos de suelos de origen aluvial, es decir originados por el acarreo de materiales provenientes de corrientes de agua, tienen 50 m o más de profundidad (Zeevaert 1953, Marsal y Mazari 1959, Peralta y Fabi 1989).

Al pie de las sierras se acumularon depósitos aluviales muy variables que dieron origen a suelos arenosos y limo-arenosos intercalados con arcilla lacustre de menos de 20 m de profundidad. En las lomas se observa suelo firme de origen volcánico con depósitos arenosos (Zeevaert 1953, Marsal y Mazari 1959, Peralta y Fabi 1989).

El proceso de formación de suelo es muy importante para los asentamientos urbanos, ya que de estas características depende la viabilidad de las construcciones, como lo demuestra el que actualmente existan graves problemas debido a que no se contempla este factor. Por ejemplo, desde los años sesenta, la delegación Iztapalapa presenta afectaciones a la infraestructura urbana debido al hundimiento progresivo y generalizado de la superficie (subsidencia) y a la presencia de grietas en el subsuelo. Estos fenómenos se agudizan cada vez más y su origen se encuentra en diversos procesos tanto naturales (heterogeneidad de materiales de origen lacustre, fluvial y volcánico, así como la eventual presencia de fallas o discontinuidades en las capas de rocas del subsuelo) como antropogénicos (explotación excesiva de los mantos acuíferos). La combinación de estos procesos puede originar que los materiales geológicos se deformen de manera diferencial, provocando hundimientos (Carreón 2011).

La formación y retención del suelo se presenta principalmente en áreas con poca o nula influencia antropogénica, pues es ahí donde se reúnen las condiciones para que puedan ocurrir (Karlen *et al.* 1997). En la Ciudad de México existe una degradación paulatina de los ecosistemas naturales (provocada por la agricultura y la ganadería, así como por los procesos de deforestación causados por los incendios y la tala clandestina) por lo cual se realizan acciones para la retención de suelo con el objetivo de controlar los escurrimientos superficiales, favorecer la infiltración y recuperar sitios con suelos erosionados. En 2010 se realizaron obras (presas de piedra acomodada, gavión y mampostería, terrazas individuales, reforestaciones, entre otras) en 11 003 ha prioritarias del suelo de conservación por parte de la Secretaría de Medio Ambiente del antes Distrito Federal (GDF 2010), así como en 1 600 ha por parte de Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), que ha realizado obras de conservación de suelo durante los últimos siete años (cuadro 2; SEMARNAT 2011).

De acuerdo con la regionalización del presente estudio, la mayor contribución a la formación y retención del suelo dentro de la

entidad, se lleva a cabo en los Bosques y Cañadas, la Serranías de Xochimilco y Milpa Alta, y los Humedales de Xochimilco y Tláhuac.

Conclusión

Al igual que en el caso de productividad primaria, la información disponible sobre la formación de suelos en la Ciudad de México es escasa. Sin embargo, se reconoce que la generación de otros SE dependen de su presencia. Asimismo, es evidente que la degradación de los ecosistemas forestales y agrícolas está provocando que este SE sea gravemente afectado. Por ello, es necesario contar con programas de recuperación y mantenimiento de suelos de la ciudad que permitan prevenir y mitigar la pérdida progresiva de este SE. Esto resulta particularmente importante si se considera la lentitud con la que se forma el suelo, como lo dejan ver algunas estimaciones que indican que bajo condiciones no alteradas los ecosistemas tardan alrededor de 300 años en producir 25 mm de suelo (Hudson 1982).

Cuadro 2. Superficie intervenida con los programas de restauración de suelos de CONAFOR en la Ciudad de México.

Año	Superficie en ha
2004	205
2005	455
2006	700
2007	1 353
2008	1 193
2009	950
2010	1 600

Fuente: SEMARNAT 2011.

Consideraciones finales de los SE de soporte

Los SE de soporte son la base del funcionamiento adecuado de los ecosistemas y de la vida que en ellos se mantiene. Si uno o varios de estos SE se ven comprometidos, se corre el riesgo de afectar profundamente los sistemas ecológicos de los cuales depende la vida de las sociedades humanas. Además, dicho potencial de afectación es impredecible por la forma sistémica en la que se entrelazan y afectan entre sí todos los SE. Es importante la difusión de la información como la aquí expuesta, con el objetivo de generar conciencia a la población sobre el concepto de estos SE y así permitirle que conozcan la relevancia que tienen.

Es a través de una concientización colectiva tanto a nivel local, como regional e incluso nacional, que se tiene la oportunidad de tener una incidencia significativa sobre el manejo potencial que se pueda generar sobre este tipo de SE aún cuando los beneficios que provienen de los servicios de soporte sean indirectos, poco tangibles y de largo plazo para las sociedades humanas. Una herramienta en este proceso de concientización es el enfoque de socio-ecosistemas, que es necesario para comprender la importancia del mantenimiento de funciones tan abstractas e importantes como los SE de soporte.

En el área de la cuenca de México la generación de los SE de soporte está ligada al funcionamiento de los ecosistemas más conservados de un área tan profundamente afectada por el proceso de urbanización como es la Ciudad de México. En la figura 12 se muestran las zonas que aportan a la generación de los servicios de soporte. La región Parques y Jardines no contribuyen de manera significativa a su generación, ya que el nivel de urbanización y la sustitución de los ecosistemas naturales modifican los procesos naturales.

En general, la información referente a la generación de SE de soporte es escasa. Los

servicios de provisión de hábitat y ciclo del agua son los mejor documentados para la ciudad. En algunos casos, como el servicio de ciclos biogeoquímicos, la información es nula, por lo que es necesario realizar investigaciones que permitan a los diferentes sectores de la población entender en qué le beneficia este servicio y cómo está siendo alterado.

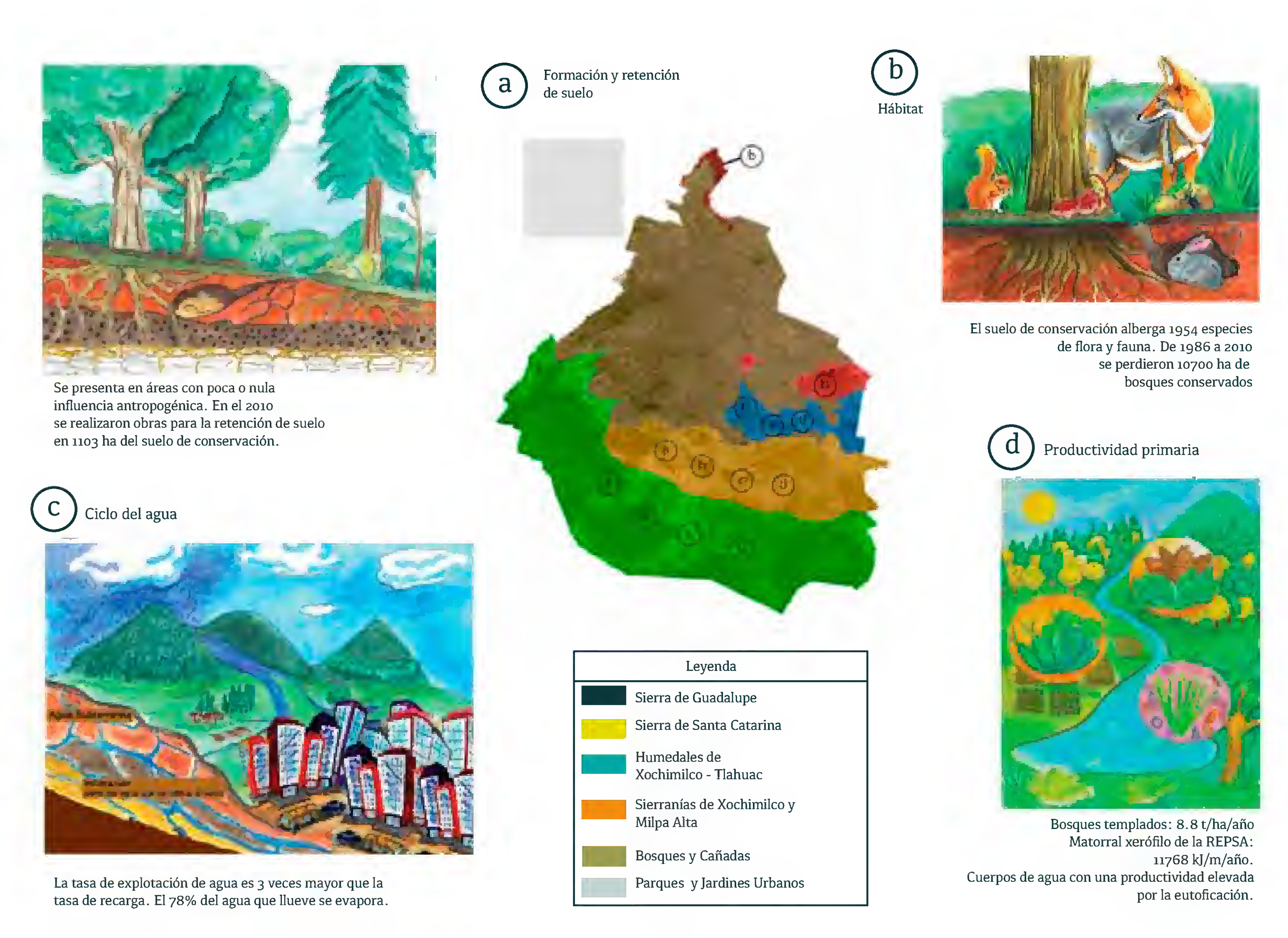


Figura 12. Servicios de soporte dentro la Ciudad de México. Fuente: elaboración propia con ilustraciones de Miguel Posadas 2011.

Referencias

Almeida-Leñero, L. 1997. *Vegetación, fitogeografía y paleoecología del zacatonal alpino y bosques montanos de la región central de México*. Tesis de doctorado. Universidad de Amsterdam, Países Bajos.

Almeida-Leñero, L., J. Giménez de Azcárate, A.M. Cleef y A. González-Trapaga. 2004. Las comunidades vegetales del zacatonal alpino de los volcanes Popocatéptl y Nevado de Toluca, Región Central de México. *Phytocoenologia* 34(1):91-132.

Aréchiga, C.E. 2004. El desagüe del Valle de México, siglos XVI-XXI. *Arqueología Mexicana* XII 68:60-66.

Arreguín-Sánchez, M., D.L. Quiróz-García y R. Fernández-Nava. 2009. Pteridofitas extintas o raras del Valle de México. *Polibotánica* 27:17-29.

Badia, D. 2011. ARASOL. Programa interactivo para el estudio y clasificación de suelos de Aragón. En: <*http://www.suelosdearagon.com/*>, última consulta: 18 de abril de 2016.

Balvanera, P. y H. Cotler. 2009. Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos. pp. 185-245. En: *Capital natural de México*. Volumen II. Estado de Conservación y tendencias de cambio. R. Dirzo, R. González, e I. March (comps.) CONABIO, México.

Begon, M., C.R. Townsend y J.L. Harper. 2006. *Ecology: From individuals to ecosystems*. Blackwell Publishing, Liverpool, UK.

Burns, E. 2009. *Repensar la cuenca. La gestión de ciclos del agua en el Valle de México*. Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), México.

Cano-Santana, Z. 1994. *Flujo de energía a través de* Sphenarium purpurascens *(Orthoptera: Acrididae) y productividad primaria neta aérea en una comunidad xerofita*. Tesis de Doctorado en Ecología. Instituto de Ecología-UNAM, México.

Carreón, F.D. 2011. Identificación y caracterización de los diferentes tipos de fracturas que afectan el subsuelo de la delegación Iztapalapa del Distrito Federal. En <*http://academiadeingenieriademexico.mx/archivos/ingresos/dora_carreon/trabajo_ingreso_dra_carreon.pdf*>, última consulta: 1 de abril del 2015.

Carrillo, N. 1969. Influencia de los pozos artesianos en el hundimiento de la Ciudad de México. pp. 7–14. En: *El Hundimiento de la Ciudad de México*. N. Carrillo (ed.). Proyecto Texcoco, México.

Castro, R.M.E. 2010. Poblamiento frente a medio ambiente. ¿Megalópolis sustentable? Pp. 91-136. En: *La Zona Metropolitana del Valle de México: Los retos de la megalópolis*. H.R. Eibenschutz (coord.). UAM, México.

Ceballos, G. y C. Galindo. 1984. *Mamíferos Silvestres de la Cuenca de México*. Limusa, México.

Chapin, F.S., E.S. Zavaleta, V.T. Eviner, *et al*. 2000. Consequences of changing Biodiversity. *Nature* 405:234-242.

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. 2009. Estadísticas del Agua de la Región Hidrológico-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México. México.

Cram, S., H. Cotler, L.M. Morales y I. Sommer. 2008. Identificación de los servicios ambientales potenciales en el paisaje urbano del Distrito Federal. *Boletín del Instituto de Geografía* 5000:81-104.

De Groot, R.S., M.A. Wilson y R.M.J. Boumans. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economic* 41:393-408.

Delgadillo, V.M. 2009. Patrimonio urbano y turismo cultural en la ciudad de México: Las chinampas de Xochimilco y el Centro Histórico. *Andamios* 6(12):69-94.

Delgadillo, D.E. 2011. *Productividad primaria neta de los bosques templados de la cuenca del río Magdalena*. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. UNAM, México.

Escolero-Fuentes, O., S.E. Martínez, S. Kralisch y M. Perevochtchikova. 2009. Vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable de la Ciudad de México en el contexto de cambio climático. En: <*http://www.cvcccm-atmosfera.unam.mx/documents/investigaciones/pdf/Agua_Escolero_%20InfFinal_org.pdf*>, última consulta: 11 de marzo de 2013.

Ezcurra, E. 1990. *De las chinampas a las megalópolis. El medio ambiente en la cuenca de México*. Fondo de Cultura Económica., México.

Ezcurra, E. 2003. De plantas y principios científicos: la pasión de Humboldt por la observación. pp. 47-55. En: *Alejandro de Humboldt: una nueva visión del mundo*. F. Holl (ed.). UNAM, México.

Ezcurra, E. 2005. Una mirada hacia atrás para ver hacia delante. Pp. 13-24. En: *La Otra Cara de tu Ciudad. El suelo que nos conserva*. E. Ezcurra, E. Peters y G.L. Portales. GDF/PAOT/Secretaría de Cultura, México.

Ezcurra, E. y M. Mazari-Hiriart. 1998. ¿Son viables las megaciudades? Las enseñanzas de la Ciudad de México. *Gaceta Ecológica* 48:6-23.

Ezcurra, E., M. Mazari, I. Pisanty y A. Aguilar. 2006. *La Cuenca de México*. FCE, México.

Filsinger. T. 2009. Vista al amanecer de la isla de Tenochtitlán en el año 1519. Recreación aertística de Tómas Filsinger. En: < *http://www.mexicomaxico.org/Tenoch/TenochAmanecer.htm*>, última consulta: 18 de abril de 2016.

GDF. Gobierno del Distrito Federal. 2010. Programa de acción climática de la Ciudad de México 2008-2012. Informe de avances 2010. GDF. México.

——. 2012. *Atlas Geográfico del Suelo de Conservación del Distrito Federal*. SMA/PAOT, México.

Halffter, G. y P. Reyes-Catillo. 1975. Fauna de la cuenca del Valle de México. pp. 135-180. En: *Memorias de las obras del sistema del drenaje profundo del D.F.* Vol. I. R. Ríos (ed.). Talleres Gráficos de la Nación, México.

Hudson, N. 1982. Conservación del suelo. Reverté. Barcelona, España.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2010. Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. En: <*http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/aeeum/2010/Aeeum10_1.pdf*>, última consulta: 12 de marzo de 2013.

——. 2015. Dinámica de crecimiento poblacional. Información por entidad: Distrito Federal. En: <*http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/poblacion/dinamica.aspx?tema=me*>, última consulta: 21 de marzo de 2015.

Izazola, H. 2001. Agua y sustentabilidad en la Ciudad de México. *Estudios Demográficos y Urbanos* 47: 285-320.

Jujnovsky, J. 2006. *Servicios ecosistémicos relacionados con el recurso agua en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México*. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. UNAM,, México.

Karlen, D. L., M. J. Mausbach, J. W. Doran *et al*. 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal* 61:4-10.

Lankao, P. R. 2010. Water in Mexico City: what will climate change bring to its history of water-related hazards and vulnerabilities? *Environment and Urbanization* 22(1):157-178.

Legorreta, J. 2006. El agua y la Ciudad de México. *De Tenochtitlán a la megalópolis del siglo* XXI. UAM, México.

Lot, A., R. Novelo, G. Olvera y P. Ramírez-García. 1999. Catálogo de angiospermas acuáticas de México: hidrófitas estrictas emergentes, sumergidas y flotantes. *Cuadernos del Instituto de Biología* 33. UNAM, México.

Lot, A. y A. Novelo. 2004. *Iconografía y estudio de plantas acuáticas de la Ciudad de México y sus alrededores*. UNAM, México.

MA. Millenium Ecosystem Assessment. 2003*a*. *Ecosystem and their services*. pp. 49-70. En: *Ecosystems and human well-being: A Framework for Assessment*. J. Alcamo *et al*. Island Press, Washington, D.C.

——. 2003*b*. A Framework for Assessment. Pp. 71-96. En: *Ecosystems and human well-being*. Chapter 3. Millenium Ecosystem Assessment. Washington, D.C.

Maderey, R.L.E. y A. Jiménez. 2001. Alteración del ciclo hidrológico en la parte baja de la cuenca alta del río Lerma por la transferencia de agua a la Ciudad de México. *Investigaciones geográficas* 45: 24-38

Marsal, R. y M. Mazari. 1959. El Subsuelo de la Ciudad de México. Facultad de Ingeniería, UNAM.

Mazari-Hiriart, M., L.A. Bojórquez, A. Noyola y S. Díaz. 2000. Recarga, calidad y reúso del agua en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Pp. 137-165. En: *Dualidad Población-Agua. Inicio del Tercer Milenio*. M. Mazari (ed.). El Colegio Nacional, México.

Mazari-Hiriart, M., Y. López-Vidal y J.J. Calva. 2001*a*. *Helicobacter pylori in water systems for human use in Mexico City*. Water Science and Technology 43 (12): 93-98.

Mazari-Hiriart, M., L. De la Torre, M.M. Mazari y E. Ezcurra. 2001*b*. Ciudad de México: dependiente de sus recursos hídricos. *Ciudades* 51: 42–51

Mazari-Hiriart, M. y M. Mazari-Menzer. 2008. Efectos Ambientales relacionados con la extracción de agua en la megaciudad de México. *Agua Latinoamericana* 8(2): 24-34. En: <*http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/Efectextramegamx.pdf*>, última consulta 21 de marzo de 2015.

Mazari-Hiriart, M., G. Pérez-Ortiz, M.T. Orta-Ledesma, *et al.* 2014. Final Opportunity to Rehabilitate an Urban River as a Water Source for Mexico City. *Plos one* 9(7).

Melo, G.C. y G. Alfaro. 2000. Vegetación. Pp. 61-68. En: *La Ciudad de México en el fin del segundo milenio*. G. Garzo (coord.). COLMEX/GDF. México.

Morlan-Mejía, J. 2010. *Producción primaria de fitoplancton en un lago hipertrófico durante la época de sequía*. Tesis para obtener título de Biólogo. Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Niederberger, C. 1987. *Paléopaysages et archeology pre-urbaine du bassin du Mexico (Mexique)*. 2 vols. Centre d'études mexicaines et centroaméricaines. Mexico.

Novelo, A. y M., Gallegos. 1998. Estudio de la flora y la vegetación acuática relacionada con el sistema de Chinampas en el sureste del Valle de México. *Biótica* 13(1-2):121-139.

Núñez, J. 1981. *Fundamentos de Edafología*. Editorial EUNED Costa Rica.

PAOT. Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Gobierno del Distrito Federal. 2010. Presente y futuro de las áreas verdes y del arbolado de la Ciudad de México. En: <*http://www.paot.org.mx/centro/ceidoc/archivos/pdf/libro_areas_verdes.pdf*>, última consulta: 11 de abril de 2013.

Parsons, J. y L. Morett. 2004. Recursos acuáticos en la subsistencia azteca: cazadores, pescadores y recolectores. *Arqueología Mexicana* 12(68), pp. 38-43.

Peralta y Fabi, R. 1989. Sobre el origen de algunas propiedades mecánicas de la formación arcillosa superior del Valle de México. En: *Memorias del Simposio sobre Tópicos Geológicos de la Cuenca del Valle de México*. SSMS, México.

PNUMA. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 2000. La situación del ambiente mundial. *Gaceta ecológica* 54:12-23.

Reutter, J.M. 1989. Lake Erie: Phosphorous and eutrophication. Fact Sheet 015. Ohio Sea Grant College Program, Columbus.

Rojas-Rabiela, T. 1985. La cosecha del agua. Pesca, caza de aves y recolección de otros productos biológicos acuáticos de la cuenca de México. *Cuadernos de la casa Chata* 116:1-112.

Rojas-Rabiela, T. 2004. Las cuencas Lacustres del Valle de México. *Arqueología Mexicana* 12: 68. En: <*http://www.arqueomex.com/S2N3nLAGOS68.html*>, última consulta: 18 de marzo de 2013.

Romero, H. 2010. La Geografía de los riesgos y catástrofes y algunos de sus aportes para su inclusión en los planes de ordenamiento territorial. *Revista INVI*, 68(25):53-62

Rzedowski, J. 1969. Notas sobre el bosque mesófilo de montaña en el Valle de México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 8(1-2): 59-129.

Rzedowski, J. 1975. Flora y vegetación de la Cuenca del Valle de México. pp. 79-154. En: *Memorias de las obras del sistema del drenaje profundo del D.F.* Vol. I. R. Ríos (ed.). Talleres Gráficos de la Nación, México.

Rzedowski, J. y G. Calderón de Rzedowski. 1989. Sinopsis numérica de la flora fanerogámica del Valle de México. *Acta Botanica Mexicana* 8:15-30.

Saavedra, Z., R.L. Ojeda y F. López. 2011. Identification of threatened areas of environmental value in the Conservation Area of Mexico City, and setting priorities for their protection. *Boletín del Instituto de Geografía* 74:19-34.

Sanders, T.W., R.J. Parsons y S.R. Santley. 1979. *The Basin of Mexico: Ecological Processes in the evolution of a civilization*. Academic Press. Nueva York, EUA.

Savé, R.M., T.F. Herralde y C. Biel. 2005. Aproximación al ciclo del agua en ecosistemas forestales. *Investigación Agraria: Sistemas y recursos forestales* 14(3): 497-512.

Scheffer, M. y S. Rinaldi. 2000. Minimal models of top-down control of phytoplankton. *Freshwater Biology* 45:265–283.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2011. Superficie de los programas de restauración y conservación de suelos de Conafor. Módulo de consulta temática, dimensión ambiental, suelos. Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN). En: <*http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_SUELO04_04&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce*>, última consulta: 14 de abril de 2013.

Sheinbaum, C. 2008. *Problemática ambiental de la Ciudad de México: Diagnóstico y experiencias de gestión. 2001-2006*. Limusa, México.

SMA. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2007. Programa Sectorial de Medio Ambiente 2007-2012.

Solís, C., J. Sandoval, H. Pérez-Vega y M. Mazari-Hiriart. 2006. Irrigation water quality in southern Mexico City based on bacterial and heavy metal analyses. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 249:592-595.

Spring, U.O. 2011. Aquatic systems and water security in the Metropolitan Valley of Mexico City. *Current opinion in environmental sustainability* 3:497–505.

Thompson, L.M. y F.R. Troeh. 1988. *Los suelos y su fertilidad*. Editorial Reverté. Barcelona, España.

UAEM y SMA. Universidad Autónoma del Estado de Morelos y Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2010. Actualización del Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal. UAEM/SMA/GDF. México.

Valek, G. 2000. Agua: *Reflejo de un valle en el tiempo*. Dirección General de divulgación de la Ciencia. UNAM, México.

Van Der Perk, J., A. Chiesura y R. De Groot. 2000. Critical natural capital and the implications of a strong sustainability criterion. *Ecological Economics* 44:2-3.

Whittaker, R.H. y P.L. Marks. 1975. Methods of assessing terrestrial productivity. pp. 55-118. En: *Primary Productivity of the Biospbere*. H. Lieth y H. Whittaker (eds.). Springer-Verlag, Berlín.

Zambrano, L., V. Contreras, M. Mazari-Hiriart y A. Zarco-Arista. 2009. Spatial heterogeneity of water quality in a high altitude tropical managed freshwater system. *Environmental Management* 43:249-263.

Zeevaert, L. 1953. Outline of the stratigraphical and mechanical characteristics of the uncosolidated sedimentary deposits in the basin of the Valley of Mexico. Pp. 1-14. En: *Memoras del cuarto congraso internacional de estratrigrafía geológica* (INQUA).

Estudio de caso

El matorral xerófilo de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel y sus servicios ecosistémicos

Silvia Castillo Argüero
Yuriana Martínez Orea
Mariana Nava López
Lucía Almeida Leñero

Introducción

El establecimiento y crecimiento de la zona metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) y su área conurbada, ocasionó la eliminación y transformación de la mayoría de los ecosistemas que existían en la cuenca de México (Lundholm y Marlin 2006). A pesar de lo anterior, la ciudad cuenta todavía con importantes áreas naturales como la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA), la cual proporciona diversos servicios ecosistémicos a la población capitalina (Cano-Santana *et al.* 2006, Nava-López *et al.* 2009).

La REPSA está situada sobre un derrame volcánico, también denominado pedregal o malpaís. Este tipo de ambientes permiten el desarrollo de una flora característica, que para el caso del Pedregal de San Ángel, está representado por el matorral xerófilo (figura 1) (Rzedowski 1954). Esta vegetación es característica de las partes bajas de la cuenca de México (2 200 a 2 500 msnm) y dentro de su tipo es único en el mundo debido a su gran riqueza florística (Carrillo-Trueba 1995, Challenger *et al.* 1998).

El matorral xerófilo se ha visto afectado por el crecimiento urbano desde la mitad del siglo XX, reduciendo su área original 70% (Soberón *et al.* 1991, Carrillo-Trueba 1995). Para mitigar su transformación y evitar su pérdida se ha hecho un esfuerzo por mantener y conservar áreas como el Parque Ecológico de la Ciudad de México, ecoguardas y la REPSA (figura 2). Desde 1983, la REPSA se ha encaminado a la investigación, la cultura y el esparcimiento dentro del campus de la UNAM y fue declarada Monumento Natural de la Nación (Narro-Robles 2008). A pesar de esta declaración, la reserva se encuentra constantemente afectada por acumulación de basura, fauna feral (animales domésticos como los perros, que viven en libertad, se reproducen y sobreviven por sí mismos), saqueo de especies, así como por la ocurrencia de incendios de origen antropogénico con diferente intensidad y frecuencia en la época seca del año (Juárez-Orozco y Cano-Santana 2007).

Este estudio de caso presenta una síntesis de los trabajos de diagnosis que se han realizado en la REPSA con un enfoque centrado en la flora y la vegetación, así como una descripción general de los servicios ecosistémicos brindados por el área.

Localización

La REPSA se ubica al suroeste de la Ciudad de México a una altitud de 2 200 - 2 277 msnm (figura 3), ocupa un área fragmentada de 2.47 km^2 (De la Fuente 2005). Presenta un clima templado subhúmedo (García 1988), con una precipitación promedio anual de 835 mm y una temperatura media anual de 15.5 °C, con una marcada estacionalidad, que se divide en: una época de

Castillo-Argüero, S., Y. Martínez-Orea, M. Nava-López, y L. Almeida-Leñero. 2016. El matorral xerófilo de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel y sus servicios ecosistémicos. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.50-69.



Figura 1. Matorral xerófilo, vegetación característica de la REPSA. Foto: Yuriana Martínez.

a

b

Figura 2. Sitios característicos del área conservada de la REPSA en frente de la Facultad de Ciencias, UNAM, (a) promontorios rocosos y (b) hondonada. Fotos: Yuriana Martínez.



Figura 3. Localización de la REPSA dentro del derrame basáltico del Xitle al suroeste de la Ciudad de México. Fuente: elaboración propia con información de Lot, A. *et al*. 2012.

lluvias de junio a octubre y una época de secas de noviembre a mayo (Castillo-Argüero *et al*. 2004).

La Secretaría Ejecutiva de la REPSA dependiente de la UNAM, es la que se encarga de su manejo a través de diversas actividades, como el incremento del acervo de producción científica y las jornadas de limpieza entre otras.

Heterogeneidad ambiental

La REPSA presenta una gran heterogeneidad ambiental, generada por una accidentada topografía, producto del derrame y enfriamiento del flujo basáltico que le dio origen y que provocó la presencia de diferentes microambientes en forma, extensión y condiciones ecológicas. Estas son el producto de variables tales como el grosor de la roca madre, la profundidad del suelo, la incidencia solar, la humedad relativa y la pendiente. Estos microambientes se pueden clasificar en sitios planos, oquedades, grietas, hondonadas, promontorios, paredes y cuevas (Santibáñez-Andrade *et al*. 2009). En el cuadro 1 y las figuras 4 se describen e ilustran los principales tipos de microambientes.

Existen otros factores abióticos y bióticos que contribuyen a la heterogeneidad microambiental. Entre los primeros están la profundidad del suelo y la pendiente, los cuales presentan una alta variación dependiendo de la topografía y el grado de acumulación del suelo (figura 5). En el segundo caso se encuentran los cambios en la estructura y composición de la vegetación, generados por la estacionalidad del clima (época de lluvias y de secas) (figura 6).

Los pedregales y la sucesión

A pesar de que el derrame de lava del volcán Xitle ocurrió hace más de 2 000 años, la intemperización del basalto no ha sido suficiente

Cuadro 1. Descripción de los microambientes presentes en la REPSA, Ciudad de México.

Microambiente	Características topográficas	Características ambientales	Ejemplos de especies características.
Planos	Sitios con roca expuesta y escasa acumulación de suelo y hojarasca.	Alta incidencia solar y alta evaporación, profundidad de suelo de 0 a 1 cm.	*Tajetes lunulatas*, *Mulhembergia robusta*, *Cheillanthes lendigera*. *Pitocaulum praecox*
Oquedades/grietas	Fracturas de la roca que varían en amplitud y profundidad.	Se acumula suelo en el fondo, al interior hay baja radiación solar y alta humedad.	*Pellaea sagittata*, *P. cordifolia*,
Paredes	Son muros de roca de diferente orientación e inclinación.	La incidencia de la radiación solar depende de su orientación, roca expuesta.	*Dioscorea galeottiana*, *Metastela angustifolia*, *Cissus sicyoides*, *Pasiflora sulpetata*.
Hondonadas	Sitios cóncavos muy anchos de poco a muy profundos.	Incidencia de luz variable y profundidad de suelo de 2 a 50 cm.	*Dahlia coccinea* , *Penstemon campanulatus*. *Dodonaea viscosa*, *Bursera cuneata*, *Pitocaulum praecox*
Promontorios	Son sitios elevados con roca expuesta y fragmentada y con oquedades donde se puede acumular suelo.	Alta incidencia solar y evaporación, acumulación de suelo entre 1 y 10 cm.	*Echeveria gibbiflora*, *Asplenium praemorsum*, *Bursera fagaroides*, *Govenia superba*.
Cuevas	Al igual que las oquedades son sitios de tamaño y profundidad variables.	Acumulación de suelo y hojarasca escasa, penetración de radiación solar baja y alta humedad.	*Pellaea sagitttata*, *Bommeria pedata*

Fuente: Santibáñez-Andrade *et al*. 2009.



Figura 4. Microambientes en la REPSA: a) hondanada, b) cueva, c) planos, d) promotorios, e) paredes, f) grietas (*) y hoyos (**). Fotos: Yuriana Martínez.

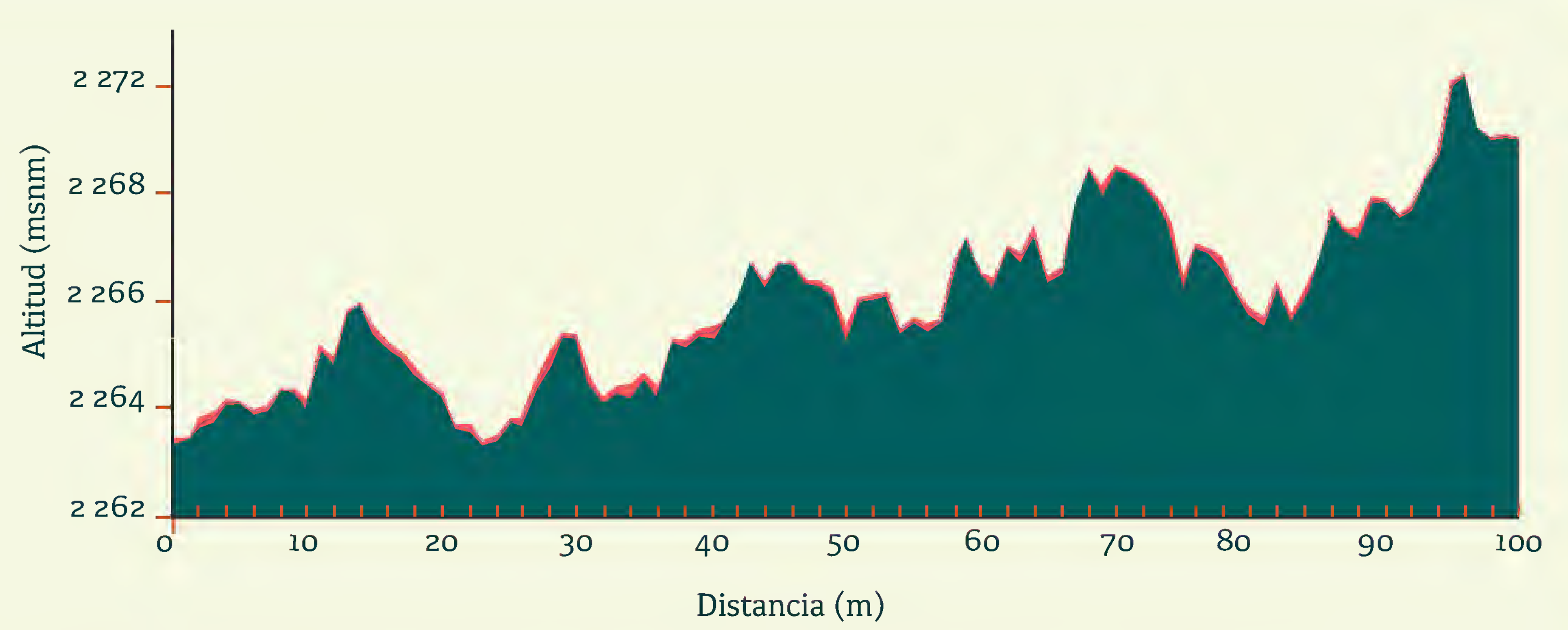


Figura 5. Perfil topográfico y acumulación diferencial de suelo en un gradiente altitudinal en la REPSA. Fuente: tomado de Santibañez-Andrade.

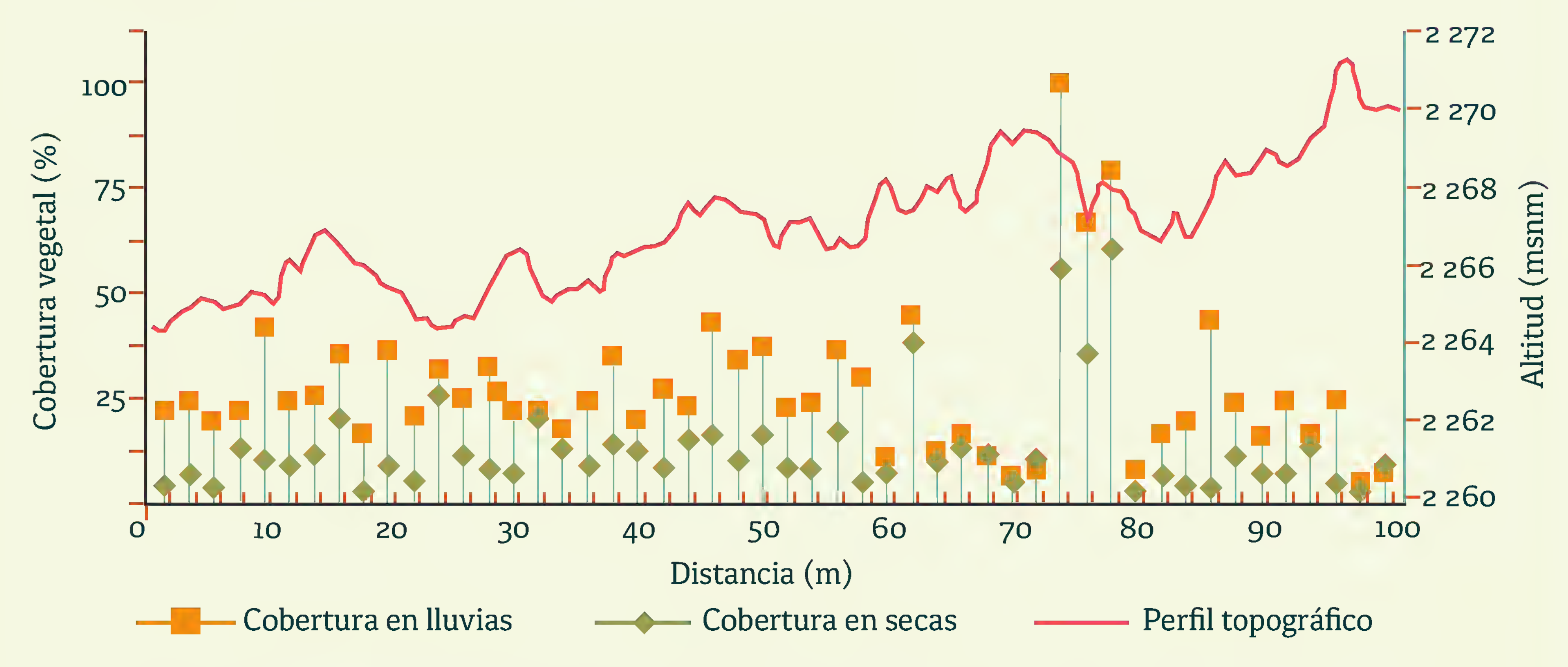


Figura 6. Valores de la cobertura vegetal en la REPSA, entre temporadas, sobrepuesto en el perfil topográfico. Fuente: tomado de Santibáñez-Andrade 2005.

para formar una capa de suelo uniforme. Ante estas circunstancias, es vital la actividad de las especies colonizadoras (aquellas que ocupan espacios con sustratos recién creados o lugares que han sido severamente alterados), como los líquenes y los musgos, pues son las que intervienen directamente en la formación de suelo a partir de la roca y hacen posible el establecimiento posterior de otras plantas, durante el proceso de recambio de especies a través del tiempo (Coley y Kursar 1996).

Los musgos y los líquenes son comunes en la REPSA y se les observa en gran variedad de microambientes, desde sitios expuestos y soleados, hasta zonas con condiciones de mayor humedad y umbría; se han determinado aproximadamente 30 especies de líquenes (Herrera-Campos y Lücking 2009), 48 especies de musgos y 18 de hepáticas (Delgadillo y Cárdenas 2009 (figura 7).

Los sustratos sobre los cuales se pueden establecer son rocas o las cortezas de árboles como los tepozanes (*Buddleja* spp.) (Herrera-Campos *et al.* 2005). Estos organismos tienen la propiedad de almacenar agua, lo cual permite a plantas pequeñas como el anís (*Tagetes*

micrantha), el gordolobo (*Gamochaetas* spp.) y las salvias (*Salvia* spp.) colonizar las rocas.

Otros organismos importantes para el proceso de sucesión son los hongos, debido a que realizan un papel trascendental en la incorporación de materia orgánica y de nutrimentos en los ecosistemas. Un ejemplo de estos son los hongos microscópicos asociados a las raíces de las plantas, los cuales favorecen su crecimiento después de un disturbio en la reserva. Estos microorganismos facilitan a las plantas una mejor y más eficiente captación de algunos nutrimentos minerales y de agua, a la vez que les proporcionan resistencia a algunos parásitos.

Para conocer de manera precisa el papel que estos organismos juegan en los diferentes microambientes de la REPSA, es fundamental determinar la identidad de las esporas de este tipo de hongos en sitios particulares, así como su viabilidad y número. Tal conocimiento podría utilizarse para planear estrategias de conservación y manejo de las comunidades vegetales utilizando las ventajas que brindan estos hongos. Los porcentajes de colonización y la variación estacional del número de esporas en diferentes microambientes se muestran en la figura 8.

Flora y vegetación

La REPSA tiene una gran relevancia por su excepcional riqueza florística y por presentar elementos únicos de la flora del matorral xerófilo. Se han reportado 377 especies de plantas pertenecientes a 74 familias y 193 géneros (Castillo-Argüero *et al.* 2009), de las cuales 70 especies pertenecen a la clase Liliopsida (Monocotiledoneas), 284 a la Magnoliopsida (Dicotiledoneas) y 22 a la división Pteridophyta (helechos) (figura 9) (Castillo-Argüero *et al.* 2009), la mayor cantidad para los matorrales de esta región (Carrillo-Trueba 1995, Challenger *et al.* 1998) (figura 8). Las familias Asteraceae (compuestas), Poaceae (pastos) y Fabaceae (leguminosas) son las mejor representadas en número de especies. Destacan las especies perennes (aquellas que mantienen sus hojas durante todo el año) como las dalias (*Dahlia coccinea, D. pinnata*), la oreja de burro (*Echeveria gibbiflora, E. coccinea*), el palo loco (*Pittocaulon praecox*), el tepozán (*Buddleja cordata, B. parviflora,*

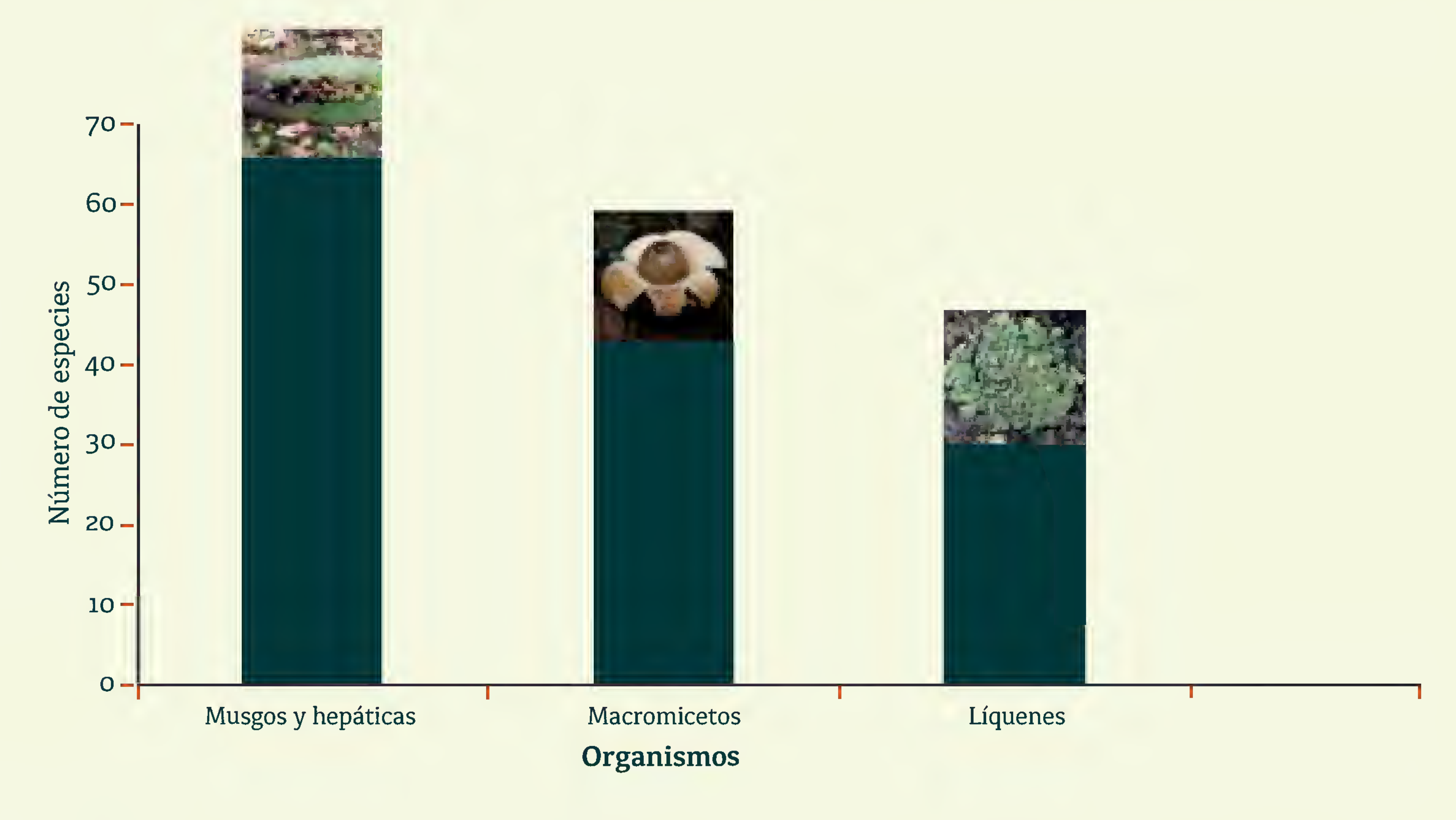


Figura 7. Riqueza de especies de musgos, hepáticas, macromicetos y líquenes reportados para la REPSA. Fuente: elaboración propia con información de Delgadillo y Cárdenas 2009 y Herrera-Campos y Lücking 2009.

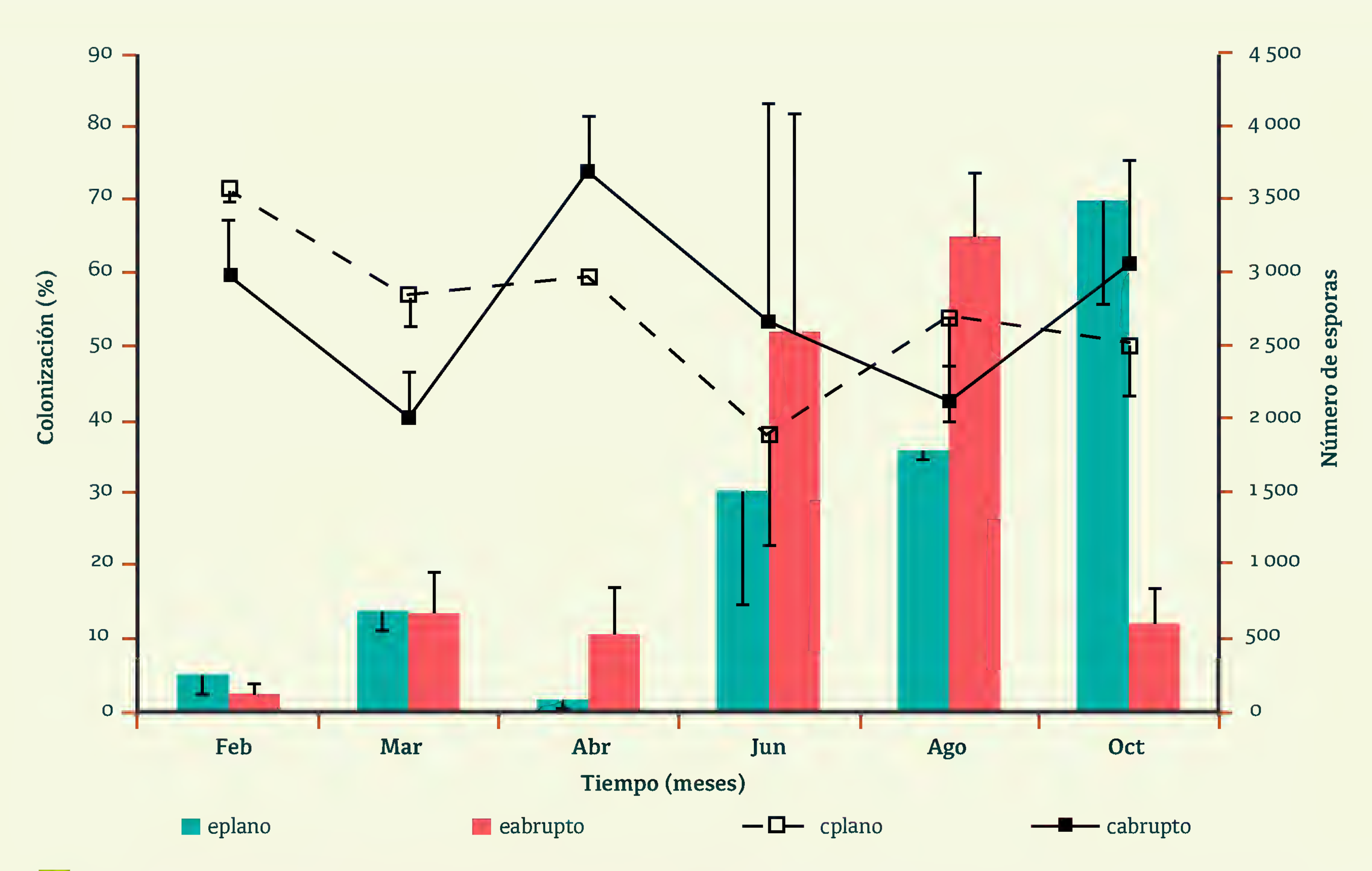


Figura 8. Porcentajes de colonización y número de esporas en ambientes contrastantes en la REPSA en diferentes temporadas del año. eplano=esporas en plano, eabrupto=esporas en abrupto, cplano=colonización en plano, y cabrupto= colonización en abrupo. Fuente: elaboración propia con información de Castillo-Argüero *et al.* 2009.

B. sessiliflora) entre otras. Se presentan estratos de altura baja con formas de vida herbácea y arbustiva como los dominantes (Castillo-Argüero *et al.* 2004, 2009).

La permanencia de las especies perennes ocurre a través de sus bulbos o raíces rizomatosas que a menudo están “protegidos” bajo la escasa cubierta de suelo o en espacios entre las rocas. Este es el caso de las especies criptofitas (plantas con yemas de perennación bajo el suelo) como los helechos y orquídeas, así como de las hemicriptofitas (plantas con yemas de perennación ubicadas a ras del suelo) como los pastos amacollados.

La REPSA, al estar bajo constante presión antropogénica, la REPSA es susceptible a cambios en su estructura y composición, por la aparición de especies introducidas entre ellas el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), pasto rosado (*Melinis repens*), bola del rey (*Leonotis nepetifolia*) y zacate rhodes (*Chloris gayana*) procedentes de África; la lechuguilla común (*Sonchus oleraceus*) y el diente de león (*Taraxacum officinale*) originarios de Europa; la casuarina (*Casuarina equisetifolia*) y eucalipto (*Eucalyptus resinifera*) nativas de Oceanía y Australia, entre otras que posiblemente ya se consideren naturalizadas, como el pirul (*Schinus molle*) (figura 10) que proviene de Perú (Rzedowski 2005). Actualmente, muchas de estas especies forman parte importante de la estructura de la reserva, debido a que además de que dispersan eficientemente sus frutos y semillas, son de rápido crecimiento y algunas se consideran malezas. Posiblemente, los incendios recurrentes favorecen el establecimiento y dominancia de especies como zacate escobillas (*Muhlenbergia robusta*) y tepozán (*Buddleja cordata*) que podrían estar sustituyendo al palo loco (*Pittocaulon praecox*) (figura 11), que fisonómicamente caracterizaba la comunidad del matorral xerófilo del Pedregal de San Ángel (Rzedowski 1954), y que ahora se está restringiendo a los sitios más conservados de la REPSA (figura 12).

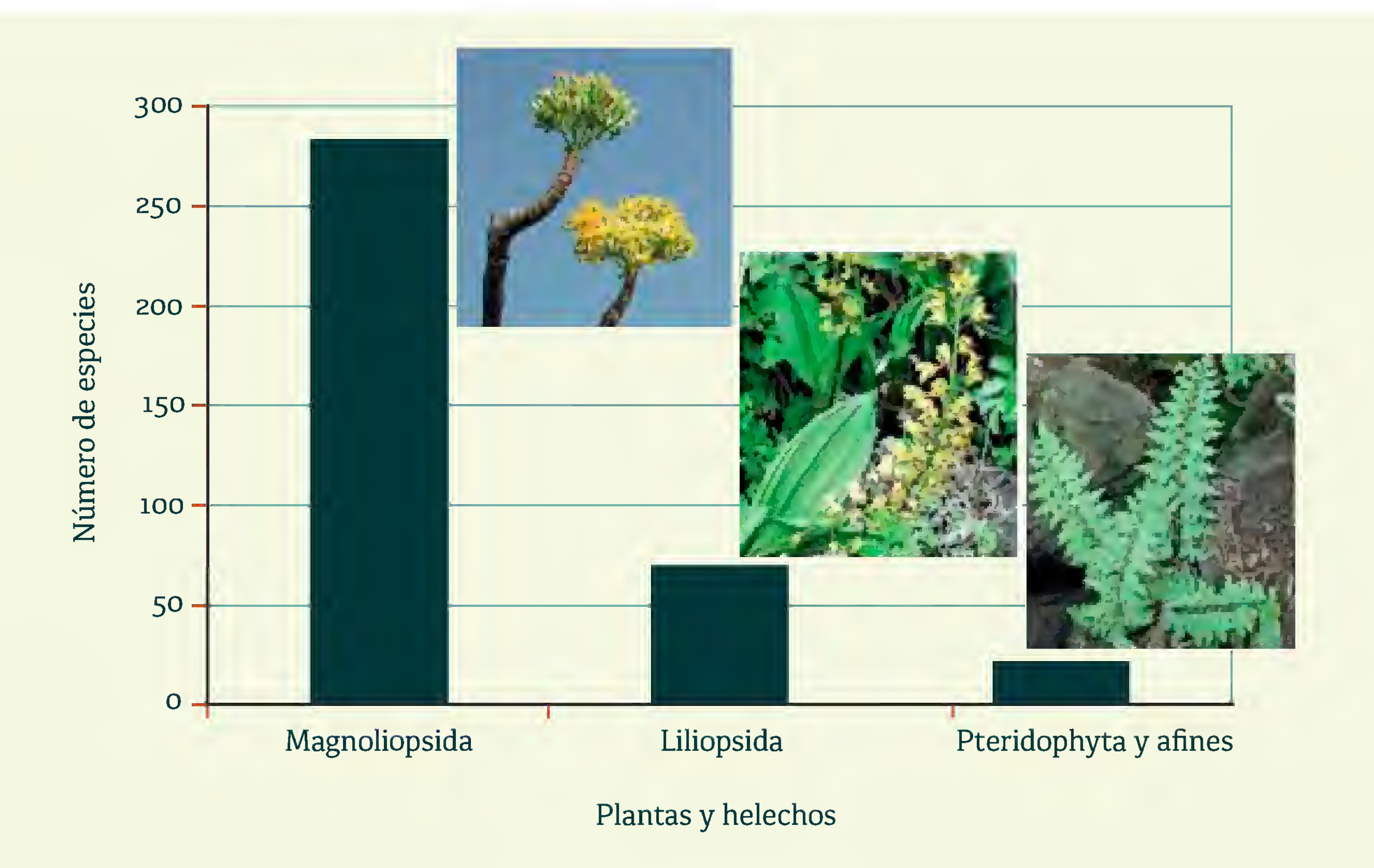


Figura 9. Número de especies de plantas vasculares en la REPSA. Fuente: elaboración propia con información de Castillo-Argüero *et al*. 2009.



Figura 10. El pirul (*Schinus molle*) es una de las especies introducidas en la REPSA. Foto: Yuriana Martínez.



Figura 11. El palo loco (*Pittocaulon praecox*) es una de las especies características del matorral xerófilo de la REPSA. Foto: Yuriana Martínez.

Este ecosistema ha favorecido la existencia de dos especies endémicas, la biznaga de San Ángel (*Mammillaria haageana* subsp. *san angelensis*) que además se encuentra en peligro de extinción, y la orquídea chautle (*Bletia urbana*) en la categoría de amenazada (SEMARNAT 2010). La presencia de estas especies indica que a pesar de los efectos antropogénicos, la alta heterogeneidad espacial ha permitido que se mantengan las poblaciones de especies representativas del matorral.

Regeneración de la vegetación

Algunos estudios muestran que después de disturbios como los incendios, la comunidad vegetal regenera sus coberturas aéreas (tallos y hojas) durante la época de lluvias (figura 13). Este proceso depende de las estrategias de permanencia que las especies tienen en la comunidad, de la disponibilidad de recursos, y de la heterogeneidad microambiental, como muestran las diferentes formas de vida el ser un atributo importante en la fisionomía de la comunidad y en las estrategias de regeneración y permanencia (figura 14). Una de las especies

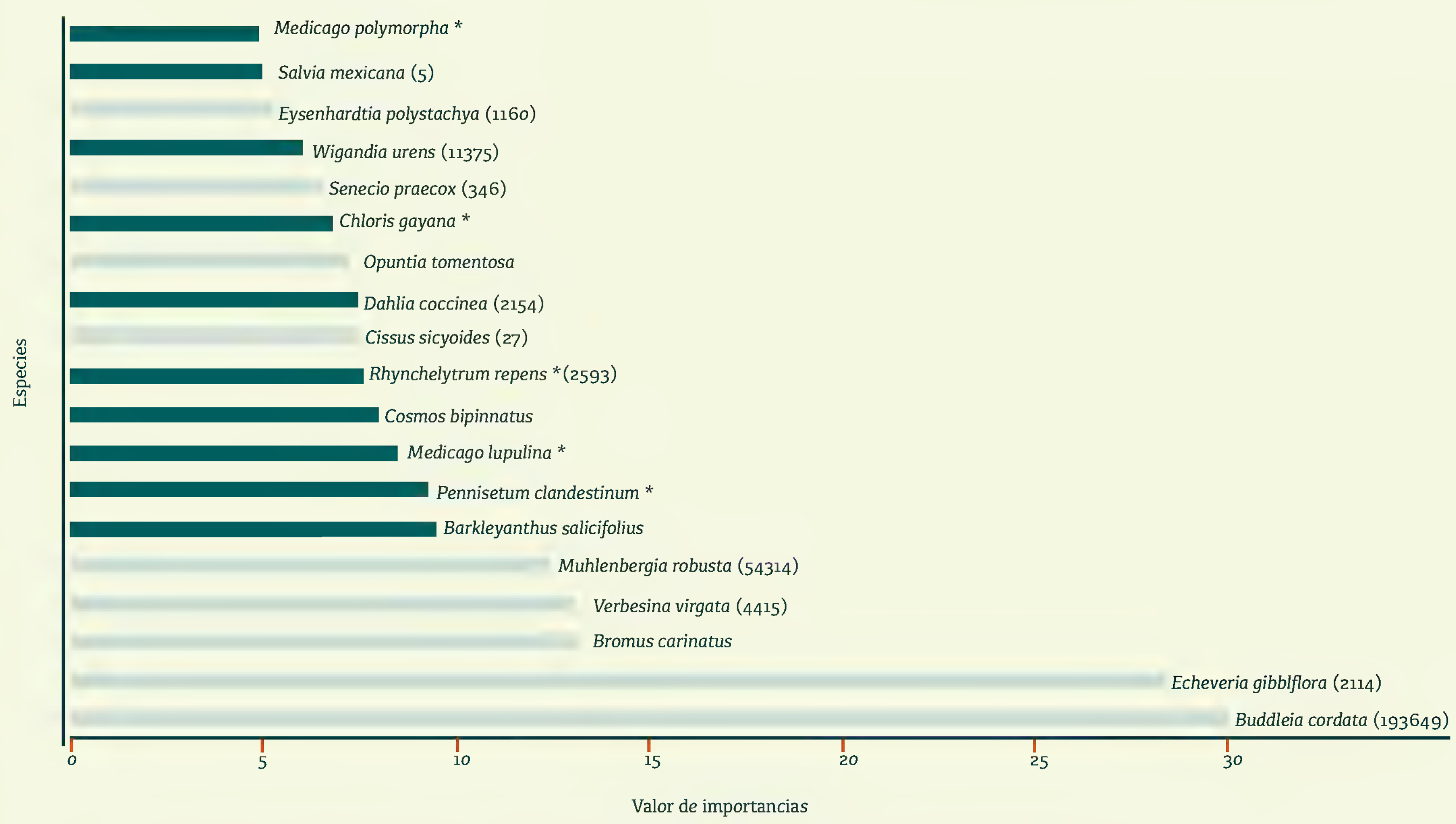


Figura 12. Especies de la REPSA con los valores de importancia más altos. Entre paréntesis se indica su abundancia en la lluvia de semillas registrada durante un año. *= especies introducidas, Barra en verde oscuro= malezas. Fuente: elaboración propia con información de Castillo-Argüero *et al.* 2009.

más abundantes es el romerillo (*Verbesina virgata*), especie fanerofita (es decir que posee yemas de perennación por arriba de los 30 cm). Esta sirve de alimento a más de 40 especies de insectos y es resistente al fuego por presentar tubérculos que le permiten rebrotar después de un incendio. En general, la riqueza de especies de fanerofitas se mantiene más o menos constante después del incendio, mientras que otras formas de vida como las hemicriptofitas (plantas cuyas yemas de perennación se ubican a ras de suelo), camefitas (a menos de 30 cm por encima del suelo) y las terofitas (plantas anuales que permanecen en la comunidad a través de su producción de semillas), incrementan su representatividad en la comunidad vegetal en época de lluvias (figura 14).

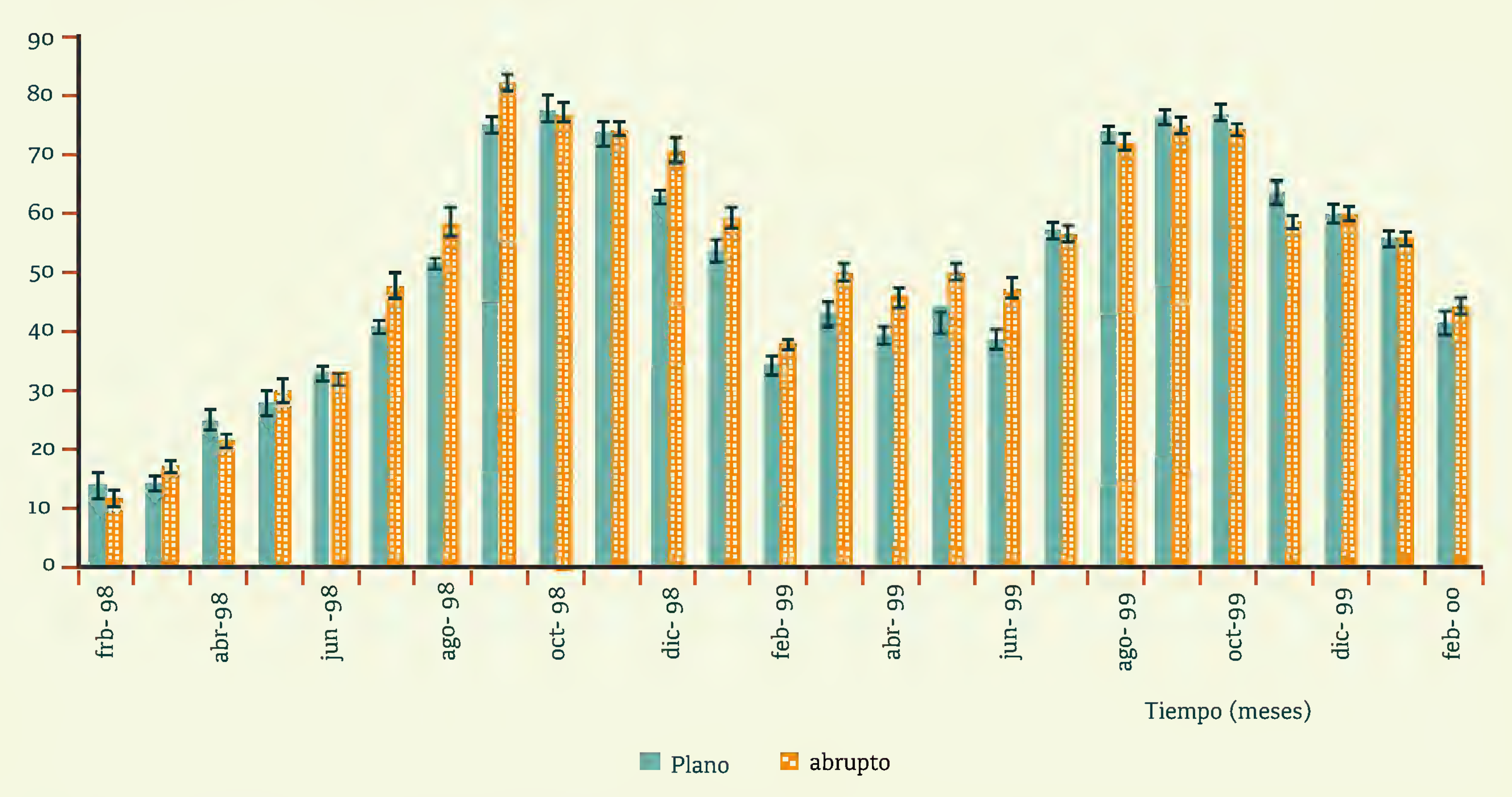


Figura 13. Regeneración de la cobertura vegetal en la REPSA después de un incendio en sitios contrastantes. Fuente: elaboración propia con información de Martínez-Mateos 2001.

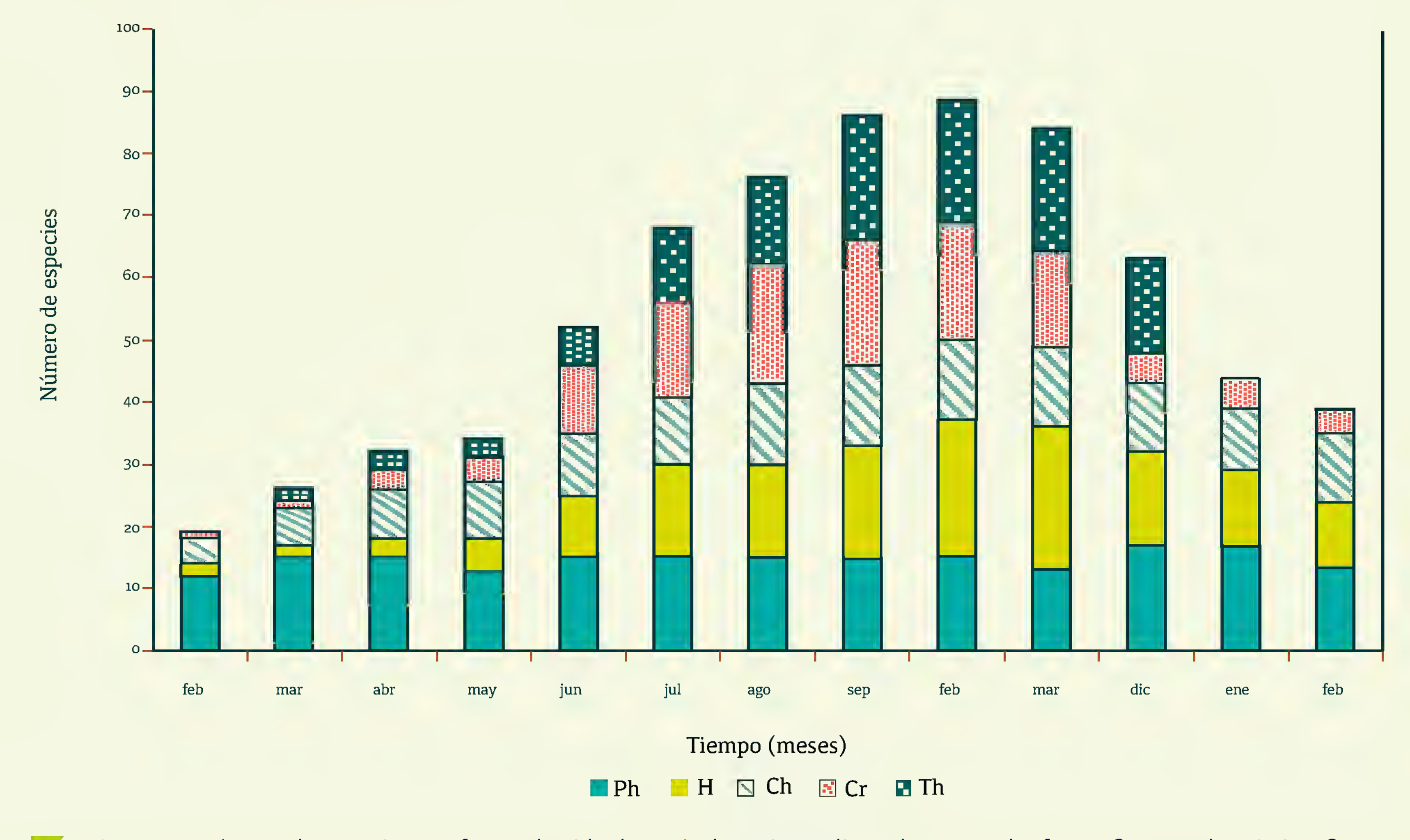


Figura 14. Número de especies por forma de vida después de un incendio en la REPSA: Ph= fanerofitas, H= hemicriptofitas, Ch= camefitas, Cr= criptofitas, Th= terofitas. Fuente: elaboración propia con información de Martínez-Mateos 2001.

Reproducción y dispersión

En la reserva se pueden observar dos temporadas de floración: la de secas, de noviembre a mayo, y la de lluvias que abarca de junio a octubre. En esta última es cuando la mayoría de las especies florecen y como consecuencia se observa que al final de esta temporada la mayor parte de las plantas tienen frutos (figura 15).

La dispersión de frutos y semillas (diásporas) conforman la lluvia de semillas (LLS) y puede arribar al suelo y alimentar a un banco de semillas. En la REPSA el vector de dispersión más común es el viento, debido a la presencia generalizada en las semillas, de estructuras especializadas para esta forma de dispersión. Numerosas especies poseen en sus diásporas "pelos" (*Gonolobus uniflorus, Pittocaulon praecox*), "alas" (*Verbesina virgata*) o tienen un tamaño muy pequeño (*Echeveria gibbiflora*, especies de la familia Orchidaceae). Asimismo, destaca la presencia de especies con cubiertas carnosas cuyo vector de dispersión son aves y mamíferos residentes de la REPSA, que al ingerirlas las diseminan. Tal es el caso del copal (*Bursera cuneata*), la granada cimarrona (*Passiflora subpeltata*) y algunas cactáceas (*Opuntia tomentosa*). La LLS presenta una mayor abundancia y riqueza en la temporada seca (figura 16), cuando los vientos presentan su mayor intensidad, siendo el tepozán y el pasto escobillas las especies que mayor cantidad de semillas aportan.

En la REPSA la mayoría de las especies, tanto perennes como anuales (aquellas que solo aparecen en cierto periodo del año), producen una gran cantidad de semillas y su estrategia para permanecer en la comunidad depende de la integración de las mismas en un banco de semillas (BS). Los BS son entidades altamente dinámicas (Harper 1977) y su estudio permite explicar los cambios temporales y espaciales en la composición y abundancia de las especies en un sistema (Thompson 1978, Fenner 1983). El BS en la REPSA es dinámico conformado por aproximadamente 45 especies, entre las cuales el tepozán (*Buddleja cordata*) (figura 17), el pasto escobillas (*Muhlenbergia robusta*), el gordolobo (*Gamochaeta americana*) y el zoapaxtle (*Montanoa tomentosa*), son dominantes y participan activamente en la regeneración del sistema después de un disturbio. Estas especies y sus estrategias son posiblemente las que permiten que el sistema retorne a un estado similar al preexistente al disturbio. En términos de riqueza (número de especies), dominan las hierbas perennes; mientras que en abundancia domina el tepozán (figura 18).

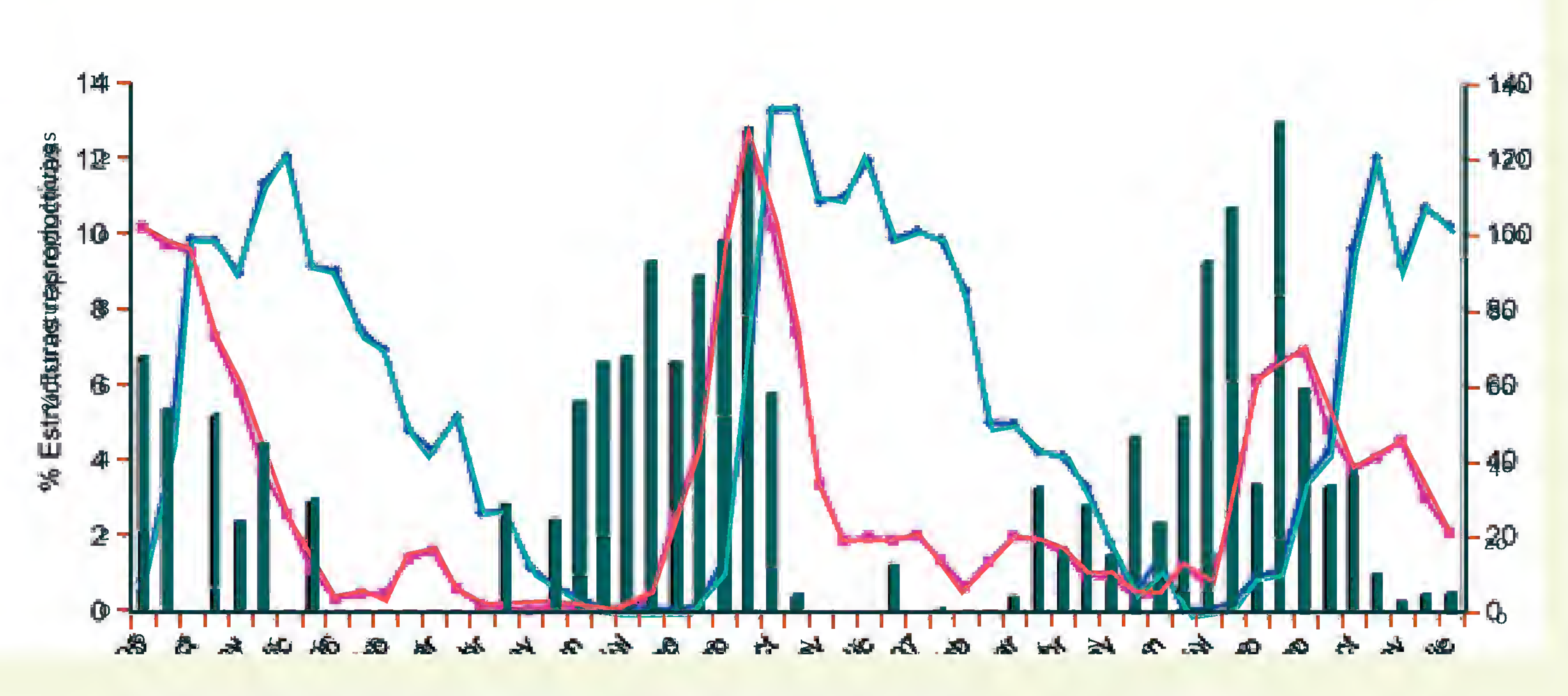


Figura 15. Patrón de floración y fructificación de lluvias a secas en la REPSA durante tres años. PP= precipitación.

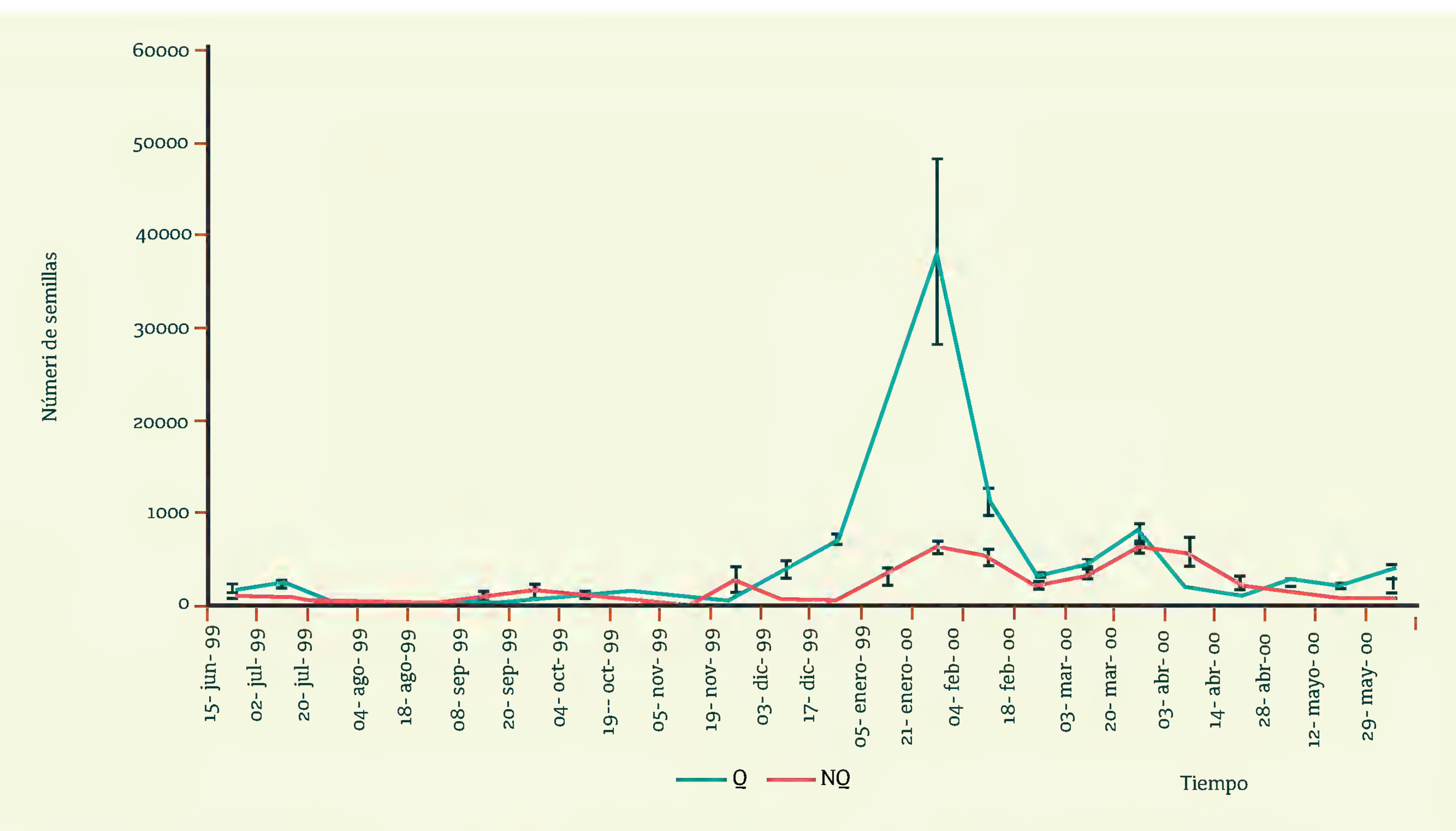


Figura 16. Variación del número de semillas a lo largo de un año en diferentes condiciones ambientales en la REPSA. Q=sitio quemado, NQ=sitio no quemado. Fuente: elaboración propia con información de Camacho 2007.



Figura 17. Detalle de las hojas y la inflorescencia del tepozán (*Buddleja cordata*), la principal especie del estrato arbóreo de la REPSA. Foto: Yuriana Martínez.

Una proporción importante del BS de la REPSA muere debido a las temperaturas altas alcanzadas durante un incendio, por lo que la riqueza y la diversidad de especies son afectadas negativamente después del fuego. Por ejemplo, Martínez-Orea *et al.* (2010), encontraron que en sitios afectados por este disturbio había 1 130 plántulas pertenecientes a 37 especies, mientras que en sitios no afectados se registraron 4 325 plántulas de 45 especies (figura 18 y 19).

Los incendios tienen un efecto significativo en la dinámica de la regeneración de la REPSA, debido a que existe un mayor flujo de semillas en sitios afectados por este disturbio por la pérdida de la cobertura aérea de la vegetación presente antes del fuego.

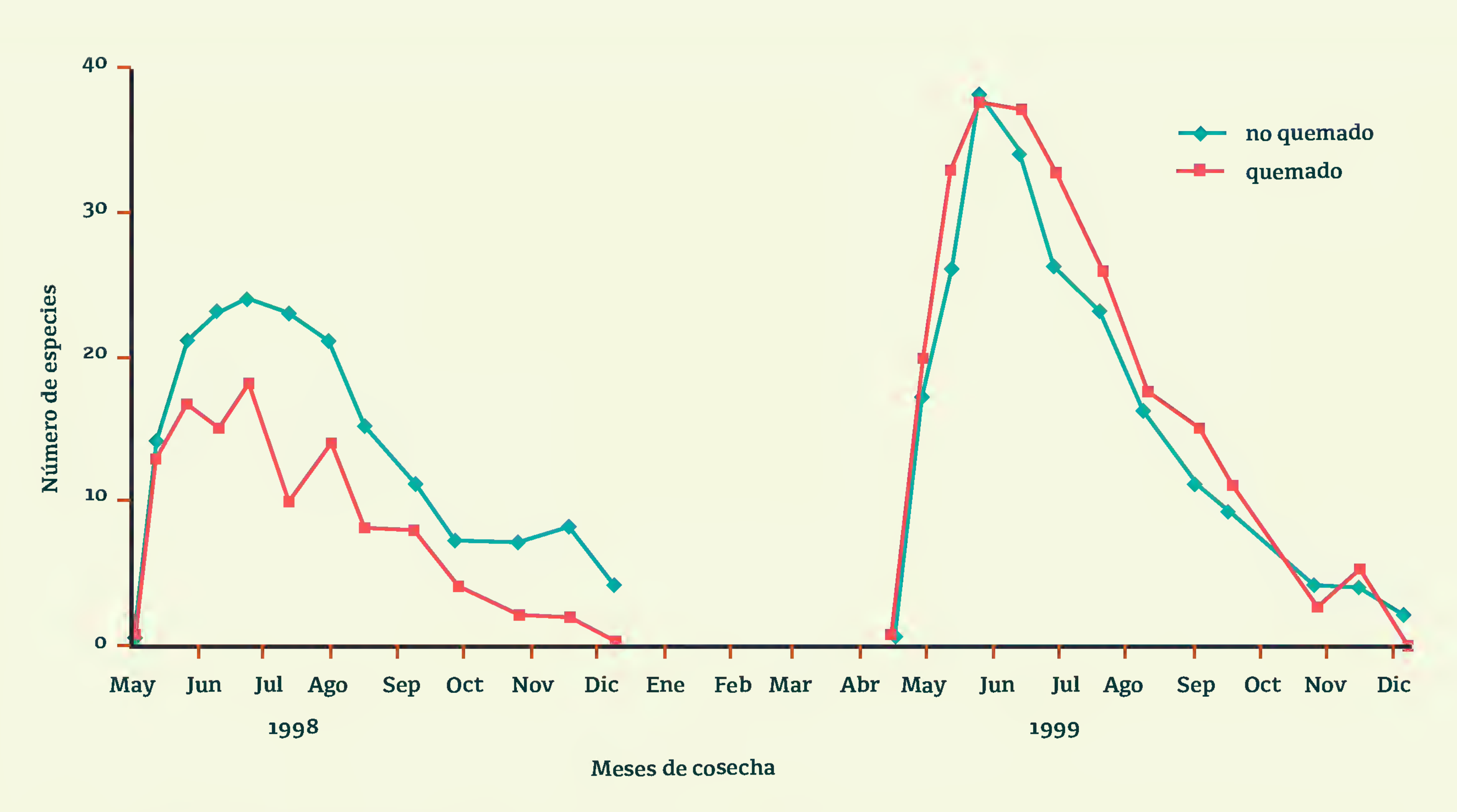


Figura 18. Número de especies de plántulas en el banco de semillas en un sitio de después de un incendio en la REPSA. Fuente: elaboración propia con información de Martínez-Orea 2010.

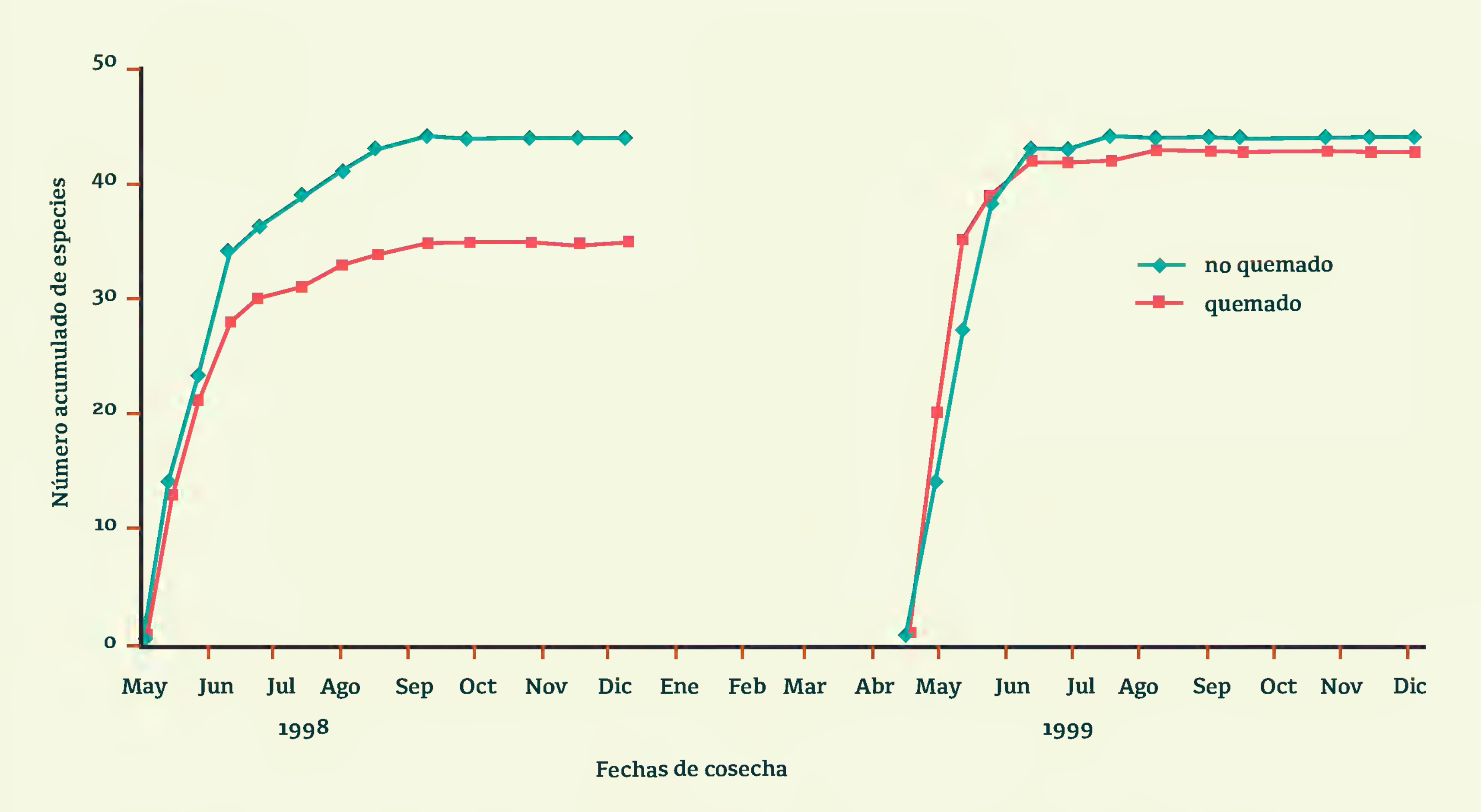


Figura 19. Riqueza acumulada en el banco de semillas, después de un incendio en la REPSA. Fuente: elaboración propia con información de Martínez-Orea 2010.

En este sentido, es importante monitorear los cambios en la composición y estructura de la vegetación mediante estudios de LLS por encontrarse inmersa en la Ciudad de México y estar sujeta a gran cantidad de disturbios. Un ejemplo de esto, es la entrada de especies introducidas y/o malezas desde jardines urbanos, con algún tipo de ventaja competitiva que puede favorecer su establecimiento y dominancia en la comunidad, como son el eucalipto (*Eucalyptus resinifera*), pasto rosado (*Rhynchelytrum repens*), casuarina (*Casuarina equisetifolia*) y bola del rey *Leonotis nepetifolia*) que se encontraron en la LLS de la REPSA. A pesar de los disturbios a los cuales está sometida la REPSA, existe un ensamble de semillas

de especies propias del matorral xerófilo que le confieren parte del potencial primordial para el mantenimiento de su diversidad, especialmente de las especies: hierba del agua (*Ageratina pichinchensis*), ala de ángel (*Begonia gracilis*), oreja de burro (*Echeveria gibbiflora*), palo loco (*Pittocaulon praecox*), entre otras (Martínez-Orea *et al.* 2012).

Fauna

La riqueza faunística presente en la REPSA se encuentra estrechamente vinculada con las características ecológicas de la misma, principalmente, por la gran heterogeneidad biótica y abiótica que aún no han sido severamente alteradas. Dentro del área existen especies endémicas para México y en alguna categoría de riesgo de la NOM-059 (SEMARNAT 2010).

A pesar de la importancia de la REPSA, su inventario faunístico aún no está completo. Sin embargo, existen algunos trabajos que reportan la riqueza de los reptiles (Sánchez-Herrera 1980), aves (Arizmendi *et al.* 1994) y mamíferos (Negrete y Soberón 1994).

Se han reportado seis especies de anfibios y 30 especies de reptiles (Méndez de la Cruz *et al.* 2009). Existen especies endémicas de la herpetofauna restringidas a zonas rocosas de las serranías del sur de la Ciudad de México, como la rana fisgona mayor (*Syrrophus grandis*), la lagartija-escamosa de palacios (*Sceloporus palaciosi*) y la lagartija escamosa de Anáhuac (*Sceloporus anahuacus*). Dentro de la NOM-059 se incluye a la salamandra pie plano común (*Chiropterotriton chiropterus*), como sujeta a protección especial; además al tlaconete regordete (*Pseudoeurycea cephalica*) y al tlaconete leproso (*P. leprosa*) en la categoría de amenazadas. Esto confirma la relevancia de esta área para la conservación de la fauna, particularmente, para la herpetofauna (Méndez de la Cruz *et al.* 2009).

Existe un inventario en el que se reportan 148 especies de aves de las cuales 84 son residentes y 64 migratorias (Chávez y Gurrola 2009). El papel ecológico de las aves es sumamente importante por la relación que existe con sus hábitos alimenticios, debido a que se consideran indicadoras de la regeneración natural de la vegetación, por su papel prominente como polinizador y/o agente de dispersión de semillas. En este sentido, se ha reportado la existencia de 52 aves insectívoras, 18 granívoras, 17 frugívoras, 10 omnívoras, ocho carnívoras; también se han registrado 43 especies que tienen dieta compuesta entre estas categorías (Chávez y Gurrola 2009). De las especies de aves reportadas, 13 especies se encuentran en alguna categoría de riesgo, dos están en peligro de extinción, cuatro amenazadas y siete en protección especial con base en la NOM-059 (Chávez y Gurrola 2009).

Se han reportado 33 especies de mamíferos (Hortelano-Moncada *et al.* 2009). Así mismo, esta zona destaca como uno de los últimos reductos de material genético de especies cuya localidad tipo (localidad de donde procede el ejemplar con el cual se describió a dicha especie) se encuentra en la cuenca de México (Hortelano-Moncada *et al.* 2009). Ejemplos de lo anterior son el murciélago magueyero menor (*Leptonycteris curasoae yerbabuenae*), el murciélago trompudo mexicano (*Choeronycteris mexicana*) y el miotis mexicano (*Myotis velifer velifer*).

En cuanto a la presencia de artrópodos en los que se incluyen a insectos, arañas, mariposas, chinches, ácaros (figura 20), quizá se trate del grupo biológico más abundante dentro de la REPSA; se han registrado 817 especies (Rueda-Salazar y Cano-Santana 2009), entre las cuales se reportan 735 insectos, 50 arañas, 20 ácaros, un chilópodo, un diplópodo y 10 crustáceos. Palacios-Vargas (1981) reportó 55 especies de colémbolos en diversos ambientes de la reserva. Lo anterior hace pensar que la REPSA por sí misma funciona como un reservorio para la fauna, especialmente de los artrópodos.

Servicios ecosistémicos

Actualmente, los beneficios que se obtienen de los ecosistemas se reconocen como servicios

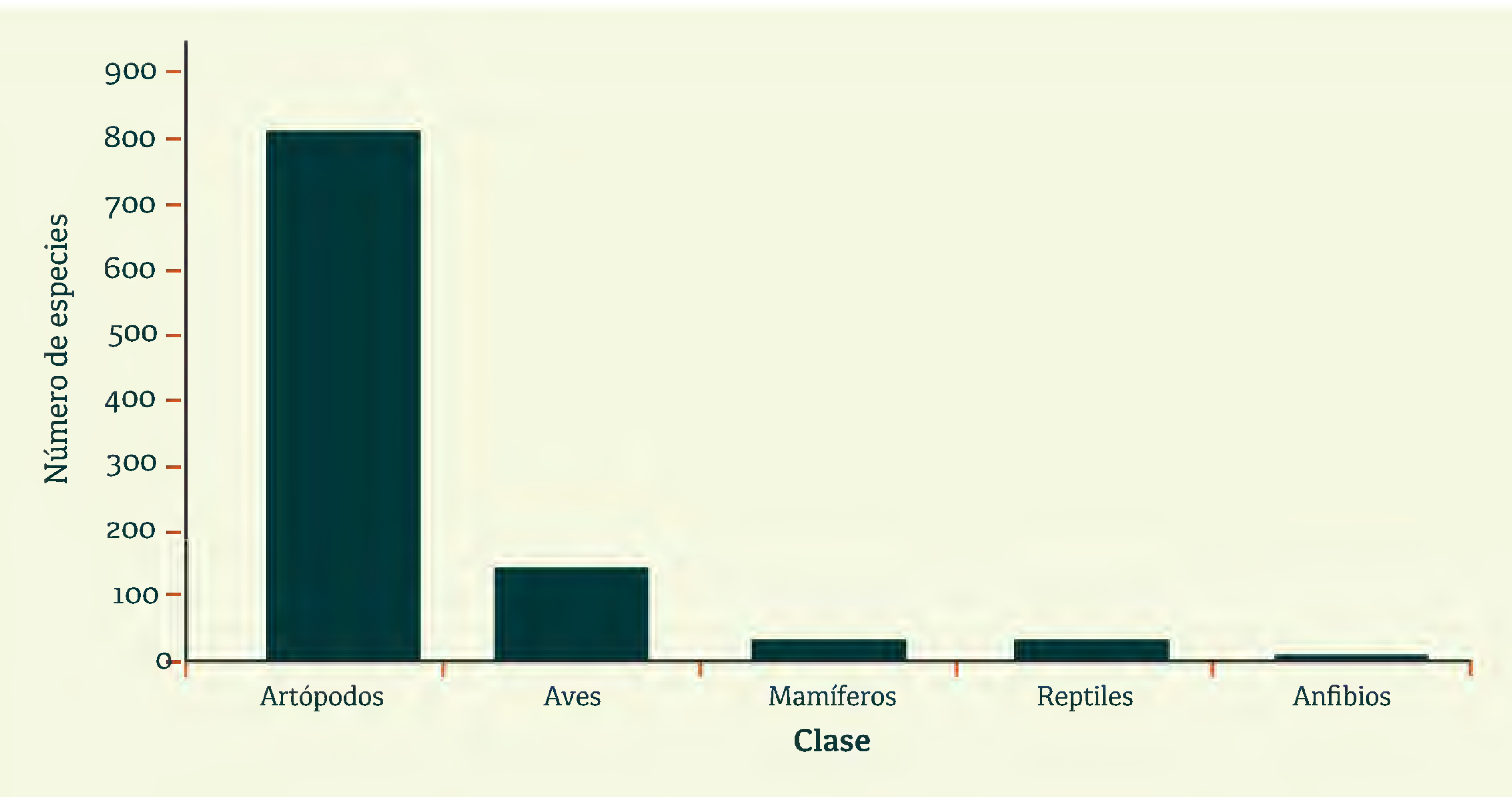


Figura 20. Riqueza de especies de artrópodos, aves, mamíferos y reptiles, registrados en la REPSA. Fuente: elaboración propia con información de Chávez y Gurrola 2009, Hoertela-Moncada *et al.* 2009, Méndez de la Cruz *et al.* 2009, Rueda-Salazar y Cano-Santana 2009.

ecosistémicos, concepto que integra la conservación de los ecosistemas con el bienestar humano (Daily *et al.* 1997, MA 2003, Balvanera y Cotler 2007). Con base en la información generada en el último siglo para la REPSA, se identifican cinco servicios ecosistémicos de provisión, tres de regulación, cuatro culturales y tres de soporte (cuadro 2).

A pesar de que la REPSA es una zona protegida y a que su superficie se ha incrementado (De la Fuente 2005), está sujeta a diversas amenazas por las actividades antropogénicas, como la deposición inadecuada de basura que propicia incendios, la presencia de fauna feral, el depósito de materiales de escombros de las construcciones, entre otros.

Ante esta situación una de las alternativas actuales para la conservación de su flora y fauna se deriva del proyecto PUMAGUA que tiene como uno de sus objetivos promover la reintroducción de plantas nativas, para conservar la flora nativa que antes existía en la Ciudad Universitaria y fomentar el manejo sustentable del agua en áreas verdes del campus universitario. Además, se investiga cual es el valor económico de su biodiversidad (Ríos-Martínez 2009).

Conclusión

Desde el siglo XIX, el matorral xerófilo del área del Pedregal ha sido reconocido como un ecosistema de gran importancia. A pesar de que su extensión original se ha visto reducida considerablemente, sigue funcionando como un refugio de biodiversidad y continúa brindando servicios ecosistémicos; por lo que identificar y mantener los servicios que proporciona este ecosistema es importante, especialmente, para una de las megalópolis más grandes del mundo. Destacan los servicios culturales, debido a que esta área funciona como un espacio para la educación ambiental y por el valor paisajístico de sus áreas verdes, lo que ha inspirado a diversos artistas. Asimismo, es un excelente laboratorio para la investigación científica y ha dado la oportunidad de que estudiantes e investigadores realicen sus prácticas, tesis e investigaciones en la zona, que incluyen gran cantidad de trabajos taxonómicos y todos los niveles de integración ecológica.

Los estudios futuros deben considerar el enfoque holístico de manejo de ecosistemas (Soberón *et al.* 1991) y la evaluación de servicios ecosistémicos importantes, como los

Cuadro 2. Servicios ecosistémicos generados en la REPSA.

Clasificación	Tipo de servicios y descripción
Soporte	**Producción primaria.** La producción primaria neta del aérea (PPNA) se ha calculado en 636 g m^{-2} año^{-1}. Suponiendo que las tendencias sean similares en la parte aérea y subterránea de las plantas, se estima que la PPN total del Pedregal de San Ángel sería de 1 074 g m^{-2} año^{-1} (Cano-Santana 1994 *a*, *b*). **Flujo de energía y cadenas tróficas.** El Pedregal sostiene cuatro niveles tróficos como máximo, sin contar a los desintegradores. **Descomposición.** No se han realizado estudios de almacen y ciclo de nutrientes en la reserva.
Provisión	**Alimento.** En la década de los cincuenta, se observaban cultivos como: maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), chícharo (*Pissum sativum*), haba (*Vicia faba*), avena (*Avena sativa*) y maguey (*Agave* sp.) (Rzedowski 1954). **Maderables.** Existen relictos de bosques de encino y pino en parques urbanos (Cano-Santana 1996). **No maderables.** Existen especies ornamentales como mamilaria (*Mammillaria discolor* y *M. sanangelensis*), dalia roja (*Dahlia coccinea*), oreja de burro (*Echeveria gibbiflora*), romerillo (*Verbesina virgata*), entre otras (Panti-Madero 1984, Carrillo 1995, Rojo y Rodríguez 2002). Especies medicinales como ala de ángel (*Begonia gracilis*) usado como purgante, tronador (*Tecoma stans*) en el tratamiento para la diabetes, palo loco (*Pittocaulon* praecox DC.) reumatismo y heridas, entre otras (Mera *et al.* 2002, Rojo y Rodríguez 2002). **Recursos genéticos.** Alta diversidad, la cual comprende 337 especies de plantas vasculares (Castillo-Argüero *et al.* 2004), 33 especies de mamíferos (Hortelano y Moncada *et al.* 2009), 148 especies de aves (Chavez y Gurrola 2009), 3 de anfibios, 10 reptiles y 817 especies de artrópodos (Rueda-Salazar y Cano-Santana 2009). **Otros productos.** En los depósitos de lava existen canteras que suministraron piedra para la construcción de casi todos los edificios de la capital de la república (Gamio 1929) y para la construcción de Ciudad Universitaria (CU) (Carrillo 1995).
Regulación	**Regulación de la cantidad y calidad de agua**. En la cantera oriente hay cuatro manantiales y cuerpos de agua sin estudios de flujo hidrológico. La roca basáltica del Pedregal es muy permeable, por lo que es una zona de recarga de los mantos freáticos (Novelo, com. pers.). **Polinización**. Existen especies polinizadoras, como artrópodos, aves y murciélagos. Se ha documentado la polinización de 62 especies de plantas con flores de la reserva por medio de abejas (Hinojosa 1996). Las flores del amole (*Manfreda brachystachya*), también son polinizadas por el murciélago hocicudo de Curazao (*Leptonycteris curasoae*) (Carrillo 1995); asimismo la oreja de burro (*Echeveria gibbiflora*) es polinizada casi exclusivamente por el colibrí pico ancho (*Cynanthus latirostris*) (Parra 1988). **Regulación del microclima.** Su ecosistema es un regulador micro-climático, ya que es un disipador de calor y fuente de humedad en la estación de lluvias cuando el clima es cálido, y viceversa en la estación seca cuando el clima es frío (Barradas *et al.* 1999).
Culturales	**Valor educativo.** Ha sido objeto de estudio desde 1787, el trabajo más importante de la vegetación del derrame del Xitle es el de Rzedowski en 1954 (Castillo-Argüero *et al.* 2004). Se tienen registradas 86 tesis sobre el Pedregal, la mayoría sobre florística y ecología y de otros temas (Catálogo TESIUNAM 2008); mientras que en el índice de revistas latinoamericanas en ciencias *PERIODICA* se registran 20 artículos científicos. **Herencia cultural.** Se han encontrado vestigios arqueológicos en las canteras de Copilco (Robles 1994) como: sepulcros, pavimentos e hileras de piedra y objetos de barro (Gamio 1929). **Belleza escénica.** El paisaje de la reserva ha sido fuente de inspiración de pintores, arquitectos y poetas contemporáneos ejemplificado en obras de Diego Rivera, Juan O'Gorman, Carlos Pellicer, Luis Barragán y el doctor Atl (Lot 2007). **Recreación.** El espacio escultórico de la UNAM y toda la zona cultural de CU son espacios de esparcimiento y cultura de la población universitaria y de toda la ciudad.

Fuente: modificado de Nava *et al.* 2009.



Figura 21. Espacio escultórico de la zona cultural de Ciudad Universitaria. Foto: Rubén Salinas-Galicia 2010.

ciclos biogeoquímicos, la fertilidad del suelo; así como la caracterización de los servicios hidrológicos, para conocer su contribución a la recarga del acuífero. Conocer el servicio de purificación del aire, permitiría saber la contribución de la REPSA en el almacenamiento de CO_2 atmosférico, así como en la producción de oxígeno para los habitantes del sur de la entidad.

Es fundamental difundir la importancia del área para mantener y mejorar la calidad de vida de los habitantes del sur de la ciudad, por lo que se debe garantizar el mantenimiento de los servicios ecosistémicos. A pesar de los esfuerzos sistemáticos que las autoridades de la REPSA han mantenido, es necesario que toda la comunidad universitaria y los habitantes de la ciudad se involucren en el conocimiento y cuidado de uno de los patrimonios más importantes con los que cuenta la UNAM y la Ciudad de México.

Agradecimientos

Al doctor Eberto Novelo, por la información acerca de los cuerpos de agua, a Marco A. Romero Romero por la consultas en la base de datos y a Gabriela Santibáñez Andrade por la elaboración de perfiles topográficos.

Referencias

Arizmendi, M. del C., A. Espinosa y H. Berlanga. 1994. *Riqueza específica y porcentaje de aves endémicas. Mapa de avifauna*. Instituto de Geografía, UNAM, México.

Balvanera, P. y H. Cotler. 2007. Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta Ecológica Número especial* 84-85:8-15.

Camacho, J.M. 2007. *Efecto del fuego sobre la lluvia de semillas en la Reserva del Pedregal de San Ángel, México.* Tesis de licenciatura en biología. Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Cano-Santana, Z., I. Pisanty, S. Segura, *et al.* 2006. Ecología, conservación, restauración y manejo de las áreas naturales y protegidas del Pedregal del Xitle. Pp. 203-226. En: *Manejo, conservación y restauración de los recursos naturales en México. Perspectiva desde la investigación científica*. K. Oyama y A. Castillo (coords.). UNAM/Siglo XXI, México.

Carrillo-Trueba, C. 1995. *El Pedregal de San Ángel.* UNAM/CIC, México.

Castillo-Argüero, S., G. Montes-Cartas, M.A. Romero-Romero, *et al.* 2004. Dinámica y conservación del matorral xerófilo de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (México). *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 74:51–75.

Castillo-Argüero S., Y. Martínez-Orea, J.A. Meaveet, *et al.* 2009. Flora de la Reserva del Pedregal de San Ángel: susceptibilidad de la comunidad a la invasión de malezas nativas y exóticas. Pp. 107-135. En: *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel.* A. Lot y Z. Cano-Santana (eds.). UNAM, México.

Challenger, A., J. Caballero, S. Zarate y R. Elizondo. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro. CONABIO, México.

Chávez, C. y M.A. Gurrola. 2009. Avifauna. pp. 261-275. En: *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel.* A. Lot y Z. Cano-Santana (eds.). UNAM, México.

Coley, P.D. y T.A. Kursar. 1996. Causes and consequences of epiphyll colonization. Pp. 337-362. En: *Tropical forest plant ecophysiology*. S.S. Mulkey, R.L. Chazdon y A.P. Smith (eds.). Chapman y Hall, Nueva York,

Daily, G., S. Alexander, P. Ehrlich, *et al.* 1997. Ecosystems services: Benefits supplied to human societies by natural ecosystems. *Issues in Ecology* 2:1–16.

Delgadillo, C. y A. Cárdenas. 2009. Musgos y otras briofitas de importancia en la sucesión primaria. Pp. 101-105. En: *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel.* A. Lot y Z. Cano-Santana (eds.). UNAM, México.

De la Fuente, J.R. 2005. Acuerdo por el que se zonifica, delimita e incrementa la zona de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria. *Gaceta* UNAM 3813:19-21

Fenner, M. 1983. Relationships between seed weight, ash content and seedling growth in twenty-four species of Compositae. *New Phytologist* 95:697-706.

García, E. 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen.* Instituto de Geografía-UNAM, México.

Harper, J.L. 1977. *Population Biology of plants.* Academic Press, Londres.

Herrera-Campos M.A., S. Huhndorf y R. Lücking. 2005. The foliicolous lichen flora of México IV: a new foliicolous species of *Pyrenothrix* (Chaetothyriales: Pyrenothrichaceae). *Mycologia* 97(2):356-361.

Herrera-Campos, MA. y R. Lücking. 2009. Líquenes. Pp. 81-94. En: *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel.* A. Lot y Z. Cano-Santana (eds.). UNAM, México.

Hortelano-Moncada, Y., F. Cervantes y A. Trejo. 2009. Mamíferos silvestres de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel en Ciudad Universitaria, UNAM, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 80(2):507-520.

Juárez-Orozco, S. y Z. Cano-Santana. 2007. El cuarto elemento y los seres vivos: ecología del fuego. *Ciencias* 85:4-12.

Lot, A. 2007. Mirar para entender el paisaje del Pedregal. *Gaceta* UNAM 3 982:9

Lundholm, J.T. y A. Marlin. 2006. Habitat origins and microhabitat preferences of urban plant species. *Urban Ecosystems* 9:139-159.

Lot, A., M. Pérez-Escobedo, G. Gil-Alarcón, *et al.* 2012. *La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel*: Atlas de riesgos. 30 aniversario 1983-2013. Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, UNAM, ICYT.

MA. Millennium Ecosystem Assessment. 2003. *Ecosystem and Human Well-being: A Framework for Assessment.* Island Press, Washington, D.C.

Martínez-Mateos, E.A. 2001. *Regeneración natural después de un disturbio por fuego en dos microambientes contrastantes de la Reserva Ecológica El Pedregal de San Ángel.* Tesis de licenciatura en biología. Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Martínez-Orea, Y. 2001. *Efecto del fuego sobre el banco de semillas de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel.* Tesis de licenciatura en biología. Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Martínez-Orea, Y., S. Castillo-Argüero, M.P. Guadarrama-Chavéz e I. Sanchez-Gallén. 2010. Post fire seed bank in a xerophytic shrubland. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 86:11-21.

Martínez-Orea, Y., S. Castillo-Argüero, M. Hernández-Apolinar, *et al.* 2012. Seed rain after a fire in a xerophytic shrubland. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83:447-457.

Méndez de la Cruz R., A. Díaz y V.H. Jiménez. 2009. Herpetofauna. Pp. 243-260. En: *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel.* A. Lot y Z. Cano-Santana (eds.). UNAM, México.

Nava-López, M., J. Jujnovsky, J. Álvarez, *et al.* 2009. Los servicios ecosistémicos en la Reserva del Pedregal de San Ángel. Pp. 51-60. En: *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel.* A. Lot y Z. Cano-Santana (eds.). UNAM, México.

Narro-Robles, J. 2008. Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Monumento Nacional. *Gaceta UNAM* 4120:4.

Negrete, A. y J. Soberón. 1994. Los mamíferos silvestres de la Reserva Ecológica del Pedregal. Pp. 219-228. En: *El Pedregal de San Angel: Ecología Historia Natural y Manejo. A. Rojo* (comp.). UNAM, México,

Palacios-Vargas, J. 1981. Note on Collembola of Pedregal de San Ángel, México. *Entomological News* 92:42-44.

Ríos-Martínez Soto, R. C. 2009. *Valuación económica de la biodiversidad en la reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel-Aplicaciones del método de valuación contingente.* Tesis para obtener del título de maestro en economía UNAM. México.

Rueda-Salazar, A. y Z. Cano-Santana. 2009. Artropodofauna. Pp. 171-201. En: *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel.* A. Lot y Z. Cano-Santana. UNAM, México.

Rzedowski, J. 1954. Vegetación del Pedregal de San Ángel. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 8:59–129.

Rzedowski, G. C. de, J. Rzedowski, *et al*, 2005. Flora fanerogámica del valle de México. INECOL/CONABIO. Pátzcuaro, Michoacán.

Sánchez-Herrera, O. 1980. *Diagnosis preliminar de la herpetofauna de Tlaxcala, México.* Tesis de licenciatura en biología. Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Santibáñez-Andrade, G. 2005. *Caracterización de la heterogeneidad ambiental en la Reserva del Pedregal de San Ángel.* Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Santibáñez-Andrade G., S. Castillo-Argüero, J.A. Zavala-Hurtado, *et al.* 2009. La heterogeneidad ambiental en un matorral xerófilo. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 85:71-79.

Soberón, J., M. de la Cruz y G. Jiménez. 1991. Ecología hipotética de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. *Ciencia y Desarrollo* 99:25–38.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

Thompson, K. 1978. The occurrence of buried viable seeds in relation to environmental gradients. *Journal of Biogeography* 5:425-430.

Servicios de provisión

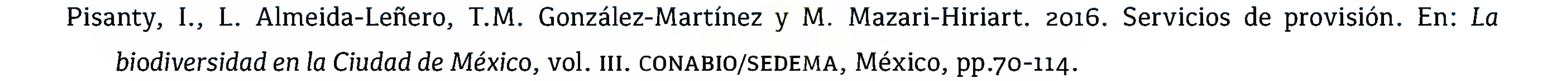
Irene Pisanty Baruch
Lucía Almeida Leñero
Teresa González Martínez
Marisa Mazari Hiriart

Los servicios de provisión son productos tangibles, también llamados recursos naturales o bienes. Proporcionan el sustento básico de la vida humana, lo cual los hace más fácilmente reconocibles (Balvanera y Cotler 2009). En esta categoría se incluyen la provisión de alimentos, de agua, de productos maderables y no maderables, y de recursos genéticos.

Alimentos

Los alimentos que ingerimos son un servicio de la naturaleza. Esto es más obvio cuando se obtiene de especies silvestres a través de la recolección, la caza y la pesca. Sin embargo, el alimento que se obtiene en condiciones que parecen completamente artificiales, como las de una granja o un campo de cultivo, también es producto de los procesos biológicos de la naturaleza, ya sea por el material genético contenido en las plantas y animales, por los suelos, por los ciclos biogeoquímicos o por el agua. La alimentación humana depende de una "infraestructura natural" sobre la que se aplican las capacidades y la tecnología de los agricultores de todo el mundo (MA 2005). Este servicio incluye la provisión de plantas, animales, hongos y productos derivados directamente de ellos para la alimentación (Wood *et al.* 2005). Se obtienen principalmente de ecosistemas agropecuarios y, en algunos casos, de ecosistemas acuáticos y forestales (Balvanera y Cotler 2009). Para que se genere este SE, es necesaria la existencia de otros servicios como la productividad primaria, la formación y retención de suelo y la provisión de agua, además de algunos más específicos, como la polinización.

La producción de alimentos en la Ciudad de México se ha concentrado mayoritariamente en las delegaciones ubicadas en el sur y sureste debido a la expansión de la zona urbana hacia el norte y oriente. Factores como el relieve casi plano, la presencia de un amplio distrito industrial y una red de infraestructura carretera de buena calidad, han favorecido el proceso de urbanización a expensas de terrenos que antes eran dedicados a la agricultura y al pastoreo (Romero *et al.* 1999, Aguilar *et al.* 2006, Pozo 2011). En la década de los setenta del siglo XX, tras una reclasificación administrativa, se dictaminó que solamente siete de las 16 delegaciones de la ciudad podían desarrollar actividades agropecuarias, y a partir de entonces el abandono del sector fue cada vez más evidente. Posteriormente, en la década de los ochenta, tras la modificación del artículo 27 constitucional que permitió la venta de tierras ejidales, se dio el abandono de tierras de cultivo para dar paso a asentamientos urbanos y a la desaparición del cinturón agrícola en los linderos de la ciudad, lo que también permitió el crecimiento de la mancha urbana (Losada *et al.* 1998). Los terrenos agropastoriles, antiguamente muy importantes dentro de la ciudad, como granjas lecheras y milpas, han ido desapareciendo. La mayor parte de estas áreas son actualmente ocupadas por industrias y complejos habitacionales (Ezcurra 1990, Pisanty *et al.* 2009).



Pisanty, I., L. Almeida-Leñero, T.M. González-Martínez y M. Mazari-Hiriart. 2016. Servicios de provisión. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.70-114.

Sistemas de producción agrícola

Los agrosistemas (sistemas de producción agrícola) de la Ciudad de México son producto de los cambios de la agricultura en la cuenca de México desde tiempos prehispánicos y presentan características que los hacen muy especiales. Desde el periodo preclásico (2 500 - 400 a.C.), las poblaciones humanas establecidas en esta zona cultivaron y contribuyeron a domesticar un gran número de plantas comestibles, por lo que la región, y la ciudad actual en particular, forma parte de uno de los principales centros de origen y diversificación de especies como el maíz (*Zea mays*), la calabaza (*Cucurbita* spp.), el chile (*Capsicum* spp.) (figura 1), el amaranto (*Amaranthus* spp.) y el frijol (*Phaseolus* spp.), que fueron y aun son esenciales para la alimentación en esta zona (García 2007).

En la cuenca de México se producen desde la época prehispánica diversas razas de maíz, como el criollo, chalqueño, ancho, cacahuacintle y palomero, y aun es posible encontrar mazorcas blancas, amarillas, azules y rojas (Rojas-Rabiela 1985, Serratos-Hernández *et al.* 2016).

Actualmente la producción agrícola en la ciudad se realiza principalmente en las zonas rural-urbanas inmersas en el suelo de conservación, dentro de las delegaciones Álvaro Obregón, Cuajimalpa de Morelos, La Magdalena Contreras, Tláhuac, Xochimilco, Milpa Alta y Tlalpan, siendo estas dos últimas las más importantes en cuanto a superficie cosechada (SAGARPA 2012). Las características ambientales de la Ciudad de México permiten el establecimiento de una gran variedad de cultivos (cuadro 1).

La horticultura involucra a más de 4 000 productores que incluyen pequeños propietarios, comuneros y ejidatarios y, aunque las cifras varían dependiendo de la fuente de información. El porcentaje de horticultores que tiene una ocupación adicional es alto y tiende a incrementarse conforme la producción agrícola y la comercialización dejan de resultarles suficientes para su mantenimiento (INEGI 2007, OEIDRUS-DF 2014).



Figura 1. Algunas especies que se domesticaron en el México prehispánico. Foto: Adalberto Ríos/ Banco de imágenes de CONABIO.

Las prácticas de manejo de los sistemas de producción agrícola son muy importantes en términos ambientales. Ejemplo de ello son los policultivos y la rotación de cultivos, que contribuyen a obtener mayor producción, reducir el riesgo del ataque de plagas y conservar la calidad nutricional de los suelos (UNESCO 2012).

Los policultivos son aquellos sistemas en que se siembra de manera simultánea dos o más especies tratando de reducir al mínimo la competencia y de obtener la máxima complementariedad de las especies, para hacer un uso eficiente de los factores físicos y biológicos como la luz, el agua, los nutrientes y el espacio disponible (Gutiérrez *et al.* 2010). La rotación de cultivos es el establecimiento reiterado de una ordenada sucesión de especies a lo largo del tiempo en la misma parcela. Es lo contrario que el monocultivo o crecimiento del mismo cultivo en la misma parcela durante varios años consecutivos (Guzmán y Alonso 2009).

La tradición de sembrar el maíz con otras plantas (como policultivos) y la rotación de cultivos constituyen parte del conocimiento

Cuadro 1. Principales productos agrícolas por delegación, región y ambiente en la Ciudad de México.

Delegación	Ambiente	Región	Cultivo
Tláhuac y Milpa Alta	Lomeríos	Humedales de Xochimilco y Tláhuac; Serranías de Xochimilco y Milpa Alta	Brócoli Acelga Espinaca Apio Romerito Verdolaga Hierbas de olor
Xochimilco	Humedales	Humedales de Xochimilco y Tláhuac	Lechuga Rábano Espinaca Calabacita Maíz
Cuajimalpa, Álvaro Obregón y Tlalpan	Lomeríos	Bosques y Cañadas, Serranías de Xochimilco y Milpa Alta	Papa Zanahoria Haba Maíz

Fuente: elaboración propia en base a datos de SAGARPA 2012.

mesoamericano transmitido oralmente de generación en generación, que aún prevalece en la agricultura periurbana de la Ciudad de México (Moran y Soriano-Robles 2010). En la cuenca de México los policultivos utilizados suelen combinar el maíz, la calabaza y las leguminosas (Flores-Sánchez *et al*. 2012). En algunas zonas se siembran desde tres hasta 12 cultivos juntos. El maíz y el amaranto (*Amaranthus* spp.) se integran con otros cultivos como el frijol (*Phaseolus* spp.), la avena (*Avena sativa*), la calabaza (*Cucurbita* spp.), el chile (*Capsicum annuum*), el ebol (también conocido como ebo o veza) (*Vicia sativa*), el haba (*Vicia faba*), el huauzontle (*Chenopodium nutalliae*) y el nopal (*Opuntia* spp.). Este conjunto de especies tienen diferentes ciclos de producción y hábitos de desarrollo, y constituyen una amplia diversidad de materias primas que complementan la dieta del núcleo familiar a lo largo del año y al ofrecerse en el mercado local aumentan los beneficios económicos (Moran y Soriano-Robles 2010). La asociación de cultivos es realizada por un mayor número de productores en las delegaciones de Cuajimalpa y Álvaro Obregón (36%), La Magdalena Contreras (17%), Tlalpan (9%) y Milpa Alta (5%) (Torres-Lima y Rodríguez-Sánchez 2006 y 2008).

Cerca de la mitad de los productores agrícolas usa actualmente fertilizantes químicos, 29% pesticidas y 36% tractores. El uso de abonos orgánicos está poco extendido (21% de los productores), exceptuando a los agricultores de Milpa Alta, quienes suelen aplicar estiércol para la producción de nopal. El uso de tracción animal es poco frecuente y se realiza sólo en La Magdalena Contreras, Milpa Alta y Tlalpan. La agricultura orgánica certificada, importante para la región en términos de la sustentabilidad ambiental, todavía está lejos de ser promovida y desarrollada, ya que menos de 5% del total de productores la reporta (Torres-Lima y Rodríguez-Sánchez 2006 y 2008).

Actualmente, existen dos sistemas generales de producción: la agricultura de chinampas y la agricultura de temporal. La primera de ellas es una técnica prehispánica adaptada a las características lacustres de la cuenca de México, que consiste en la formación de extensiones de suelo creadas artificialmente sobre lagos de poca profundidad, apoyadas sobre troncos y carrizos que se colocan sobre

el agua (de ahí su nombre de jardines flotantes). Se fijan con estacas al fondo del lago formando secciones rectangulares confinadas, que son rellenadas con piedras, tierra, lodo y suelos orgánicos mezclados con estiércol en la última capa. Como complemento de esta técnica, usualmente se plantan ahuejotes (*Salix bonplandiana*) alrededor del volumen de tierra, para detener el suelo de la chinampa con las raíces de estos árboles (figura 2). Este sistema permite tener varias cosechas al año gracias a su contacto directo con el agua y por ello se considera como agricultura de riego (Coe 1964, Armillas 1971, Delgadillo 2009).

No existe claridad de cuándo y quiénes inventaron las chinampas, pero se sabe que alrededor del año 1 300 d.C. los xochimilcas y otras culturas de la cuenca de México ya conocían y usaban este sistema (Ortíz-Hernán 2006), que se convirtió en la base del sustento alimenticio de alrededor de 200 000 habitantes de la ciudad de Tenochtitlan durante el imperio azteca (Popper 1995) y permitió el desarrollo de una cultura avanzada, aunque no totalmente autosuficiente ni sustentable (Ezcurra *et al.* 2006). La población azteca pudo expandirse en gran parte por la seguridad alimentaria que representaban las chinampas donde, además de cultivar el maíz, el frijol, la calabaza, el tomate (*Solanum* spp.) y el chile, encontraban por ejemplo 16 tipos de quelites (plantas pequeñas y tiernas que son malezas de campos de cultivo y que tienen un alto contenido alimenticio Niederberger 1987). Al crecer la población, fue necesario empezar a importar productos de otras regiones, que eran obtenidos en forma de tributos forzados, y que incluían maíz, frijol, pescado, mariscos, miel, aguamiel, frutas, vainilla, algodón, amate y henequén entre otros (Ezcurra 1990). Si bien las chinampas eran un sistema ejemplarmente sustentable (Coe 1964, Armillas 1971), las actividades de la gran Tenochtitlan no lo eran en su conjunto (Ezcurra *et al.* 2006).

Desafortunadamente, hoy en día más de 95% de las chinampas que aún existen se



Figura 2. Sistema de chinampas en Xochimilco. Foto: Adalberto Ríos/Banco de imágenes de CONABIO.

encuentran abandonadas, y las que subsisten han sido sometidas a planes de recuperación y restauración enfocados mayoritariamente a satisfacer las necesidades turísticas (SAGARPA 2012). Además, han cambiado gran parte de su producción agrícola por la siembra de flores, que es una actividad característica de la zona, como lo denota su nombre (*xochitl*=flor) (figura 3), y gran parte de esta actividad se realiza en invernaderos que suplen a la actividad chinampera como tal (Merlín-Uribe *et al.* 2013). Actualmente, se siguen cosechando algunas hortalizas como la lechuga, el maíz, y hierbas de uso tradicional como el romero. Esto se debe en parte, a que el crecimiento de la mancha urbana ha impactado directamente la calidad del agua de los canales lo que afecta el establecimiento de especies más sensibles a esas condiciones, así como al hecho de que los ingresos que genera esta actividad agrícola son muy bajos (Losada *et al.* 1998 Terrones 2006 Stephan-Otto 2009). Los últimos vestigios de producción agrícola basados en este singular sistema sobreviven como medios de abastecimiento secundario de familias de tradición chinampera. Este tipo de producción abarca apenas 12% de la superficie agrícola total en la Ciudad de México (SAGARPA 2012).

Además de lo anterior está la agricultura de temporal, que se denomina así porque las necesidades de agua se satisfacen exclusivamente con lluvia. En la época prehispánica, a la par del desarrollo de la producción en



Figura 3. La producción de flores como la nochebuena (*Euphorbia pulcherrima*) ha desplazado a la producción agrícola de alimentos en Xochimilco. Foto: Adalberto Ríos/ Banco de imágenes de CONABIO.

chinampas, se construyeron terrazas en las partes elevadas del sureste de la cuenca de México para el establecimiento de milpas o parcelas, donde se producían algunos cultivos consumidos regularmente, como el maíz, el frijol, la calabaza y el chile (Moran y Soriano-Robles 2010). Actualmente el sistema de producción de temporal abarca 88% de la superficie agrícola (SAGARPA 2012).

Entre las parcelas que hoy en día existen, predominan los pequeños espacios productivos, entre los que destacan los traspatios, que tienen múltiples formas y funciones como los huertos familiares y las granjas domésticas (SEDERC 2010). En las delegaciones de Cuajimalpa, Álvaro Obregón y Milpa Alta, cerca de 90% de los productores cuentan con una o menos de una hectárea, mientras que 45 y 57% de la producción se concentra en La Magdalena Contreras y Tlalpan, respectivamente, y se realiza en superficies de más de una hectárea (Torres-Lima y Rodríguez-Sánchez 2006).

Del total de la superficie cultivada con alimentos tanto en el sitema agrícola de chinampas como en el sistema de temporal, 77% corresponde a cultivos cíclicos, que son aquellos cuyo periodo de crecimiento y cosecha es menor a un año y cuya periodicidad está determinada por los cambios estacionales. Unos de los anteriores son el maíz (*Zea mays*) y la avena forrajera (*Avena sativa*); ésta última es el cultivo que mayor superfice ocupa en la entidad (con 6 056 ha) y se utiliza para alimentar animales. Los cultivos perennes (con ciclos de vida mayores de un año) ocupan 33% de la superficie cultivada; el más importante de ellos el nopal, que se encuentra en 90% de dicha superficie (figura 4).

La producción total de alimentos cultivados durante el 2011 fue de 514 134 ton, incluyendo tanto los que se usan para forraje como los que se usan para consumo humano directo. La mayor parte de la superficie agrícola (78%) se encuentra cultivada con la avena, el maíz y el nopal. Este último presenta la producción más alta, con 341 454 ton/año (SAGARPA 2012), y abastece la mayor parte de la demanda nacional de este producto, además de ser exportado a los Estados Unidos y Japón, por lo que prácticamente es el único cultivo que tiene un mercado de amplitud geográfica y económica importante (figura 4) (Torres-Lima y Rodríguez-Sánchez 2006).

Las estadísticas muestran que la producción de las hortalizas ha disminuido paulatinamente, con la excepción del nopal y el brócoli (figura 5). El nopal aumentó ligeramente en los últimos años debido al impulso que tiene su cultivo en Milpa Alta, mientras que el cultivo del brócoli se incrementó progresivamente desde 1993, y de manera muy importante a partir de 2003 (figura 6) (SAGARPA 2012). Igualmente, se incrementó el cultivo del apio (*Apium* spp.), debido a que en Xochimilco se optó por sembrarlo y comercializarlo de manera más consistente (Almaguer-Vargas *et al.* 2012, Ayala-Garay *et al.* 2012*a* y *b*).

De la década de los noventa a la fecha, la producción agrícola de la ciudad alcanzó su máximo nivel en el 2003, pero la mayoría de los productos han presentado una tendencia irregular, con altas y bajas en su productividad. Sin embargo, la producción del maíz para grano ha ido disminuyendo de manera significativa y constante a partir de 1997 (figura 7) (SAGARPA 2012).



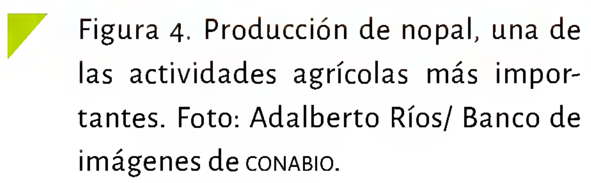


Figura 4. Producción de nopal, una de las actividades agrícolas más importantes. Foto: Adalberto Ríos/ Banco de imágenes de CONABIO.

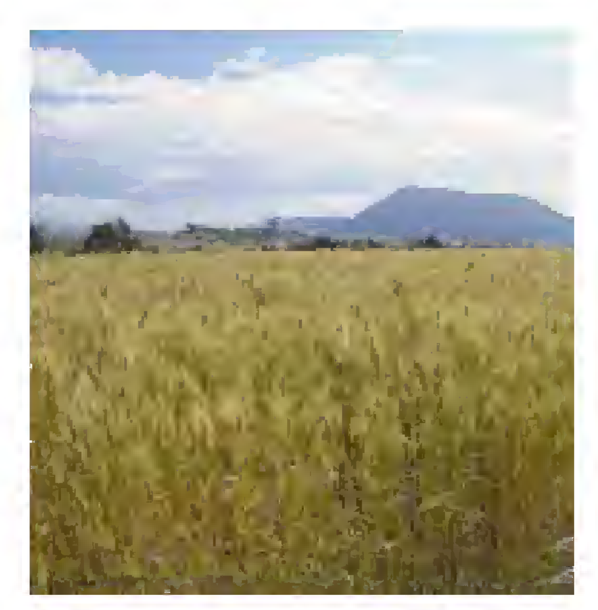




Figura 5. Los cultivos de avena (izquierda) y de maíz (derecha) ocupan la mayor parte de la superficie cultivada en la entidad. Fotos: Adalberto Ríos/ Banco de imágenes de CONABIO.

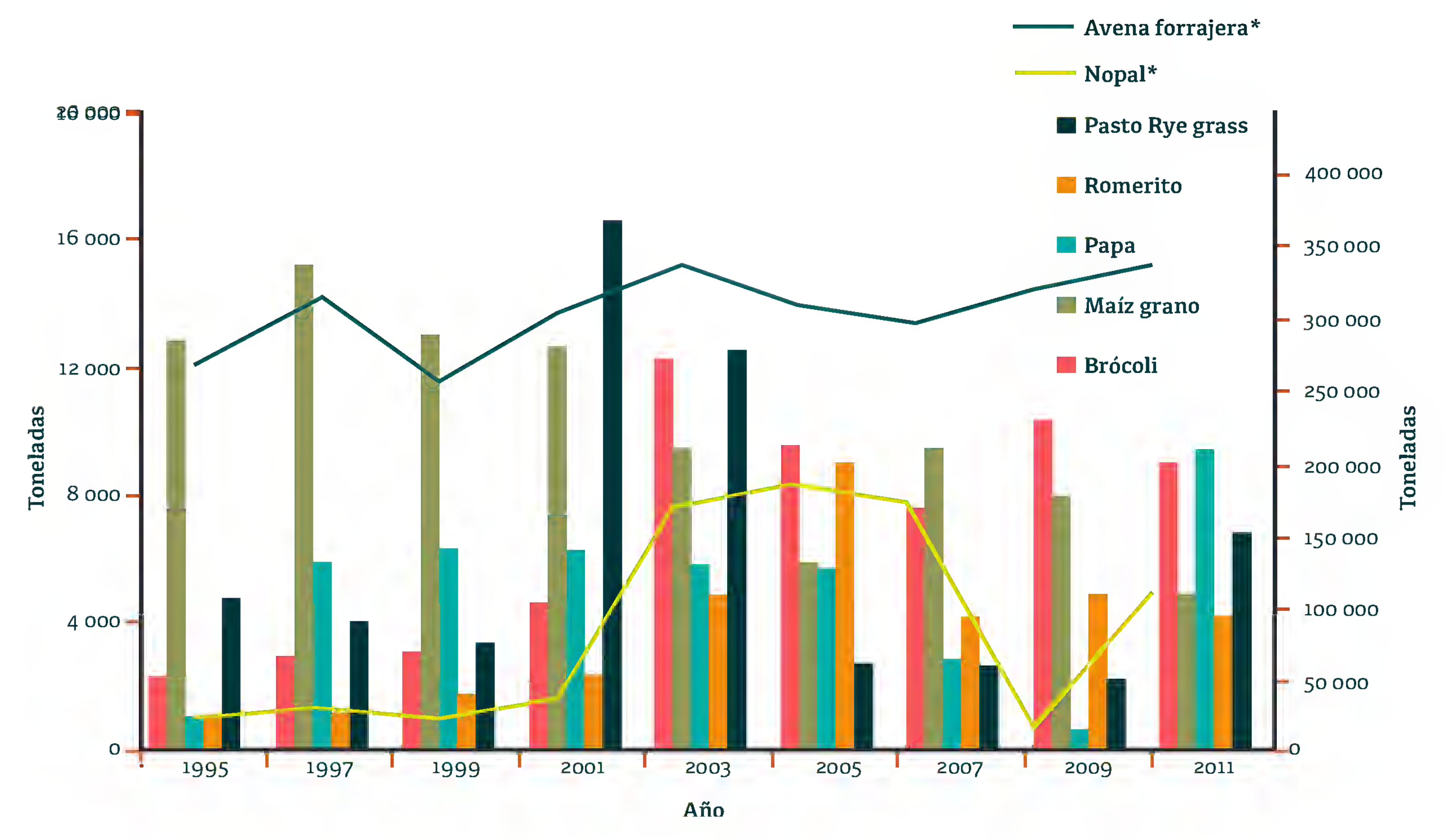


Figura 6. Volumen de cosecha de los cultivos más productivos en la ciudad durante el periodo de 1995 a 2011. *Las toneladas de producción para la avena y el nopal se presentan en el eje z de la gráfica, ubicado del lado derecho; a diferencia de los otros cultivos éstos alcanzaron cientos de miles de toneladas. Fuente: elaboración propia con información de SAGARPA 2012.

La producción agrícola la Ciudad de México se distribuye y comercializa principalmente a través de la Central de Abasto (CEDA) de la delegación Iztapalapa (donde se reorganizaron todos los comerciantes del antiguo mercado de La Merced), aunque también se hace a través de mercados locales, y los supermercados, y en menor medida, en la Central de Abasto de Ecatepec. Al igual que en el resto del país, la distribución de los productos agrícolas de la entidad enfrenta grandes barreras que se pueden resumir en el hecho de que una gran cantidad de consumidores requieren de los alimentos producidos por un número reducido de productores,

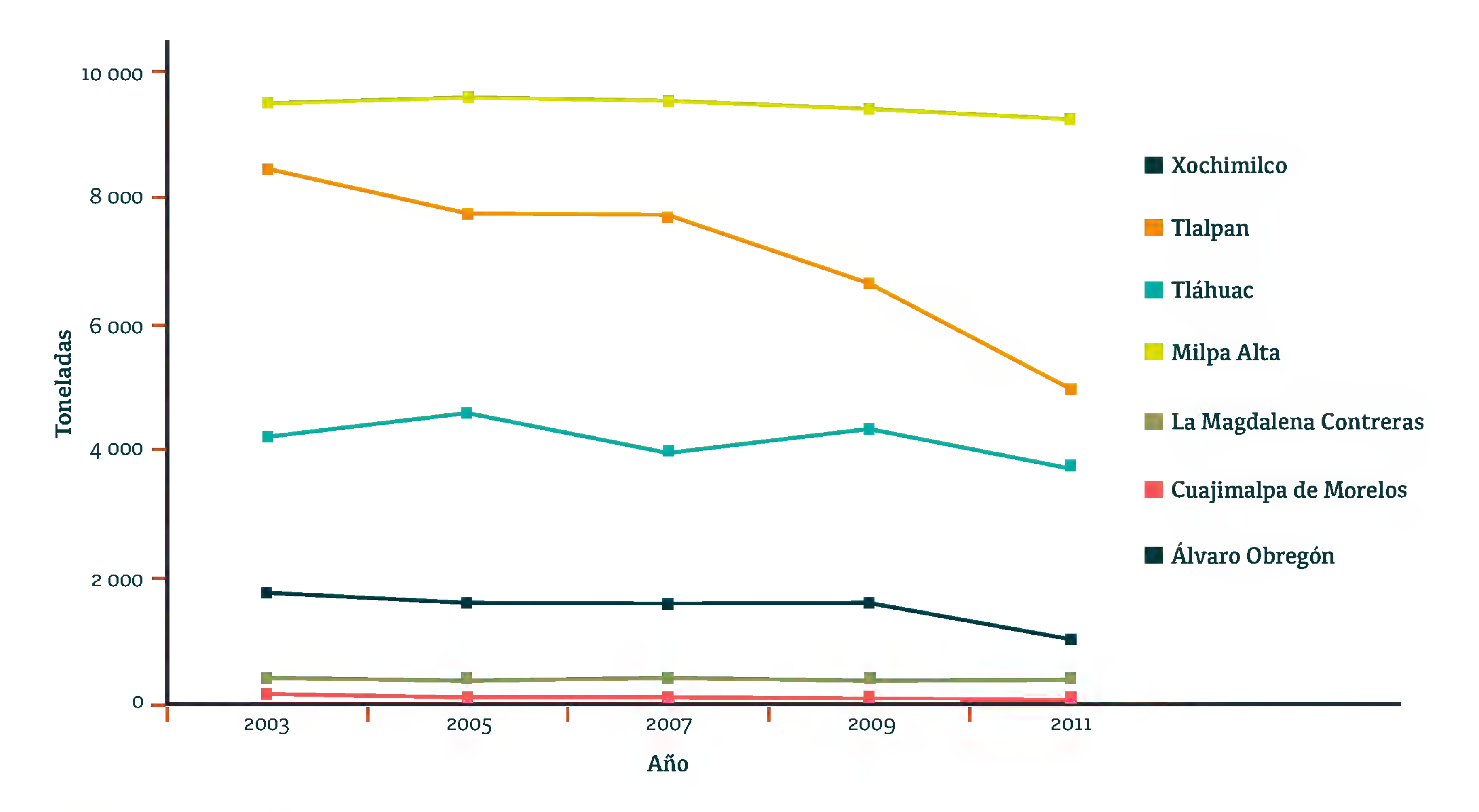


Figura 7. Superficie cosechada en las delegaciones que tuvieron actividad agrícola, de 2003 a 2011. Fuente: elaboración propia con información de SAGARPA 2012.

que son distribuidos por un número aún menor de distribuidores mayoristas (alrededor de 200), que acaparan la mayor parte de los productos en la CEDA. Esta situación ("de embudo") deja grandes márgenes a la especulación de precios, situación que se agrava por la especialización en uno o pocos productos por parte de los acaparadores, lo que reduce la competencia y encarece los alimentos. Adicionalmente, hay una diferencia entre la cantidad que llega a la CEDA y la que finalmente se vende, debido a que el mal manejo y la falta de infraestructura hacen que se desperdicie alimento por el maltrato y descomposición, al grado de no poder ser vendido (AMSDA 2013). Se ha calculado que entre el precio que se paga al productor y el que se le cobra al consumidor hay una diferencia de cerca de 400% (2000Agro 2001).

En la CEDA se comercializan alrededor de 15 000 productos provenientes de 24 entidades federativas incluyendo a la Ciudad de México. Así, la CEDA es también un centro importante de distribución de alimentos para todo el país. Se calcula, por ejemplo, que 60% del chile, la cebolla, el ajo, el limón, la naranja y la papaya que se consumen en el país se distribuyen en la CEDA (Almaguer-Vargas *et al.* 2012).

Aunque la mayor parte de los productos agrícolas de la capital se comercializan a través de la CEDA, la producción en esta entidad representa apenas 5.8% de la producción nacional (figura 8), y no es lo suficientemente alta como para ser competitiva con respecto a la de otros estados cuyos productos se distribuyen a través de este mercado (INEGI 2010).

La mayor diversidad de frutas y hortalizas que llegan a la CEDA proviene de los estados de Michoacán y de Puebla, además de que ahí se reciben constantemente productos específicos de otros estados, como el plátano (*Musa* spp.) proveniente de Tabasco y la papaya (*Carica* spp.) de Oaxaca (SAGARPA 2011). Los únicos productos agrícolas de la Ciudad de México que se reciben y registran de forma constante en la CEDA son el nopal grande y el apio y de acuerdo a los datos disponibles de 2006 a 2012, los productos provenientes la capital representan menos de 3.5% de lo que ingresa a este centro de acopio y distribución (Almaguer-Vargas *et al.* 2012). El apio es una notable excepción a lo anterior, ya que constituye un importante producto en la ciudad, cuyo volumen de producción es 12% del total nacional, lo cual lo ubica en el sexto lugar entre las entidades federativas que lo

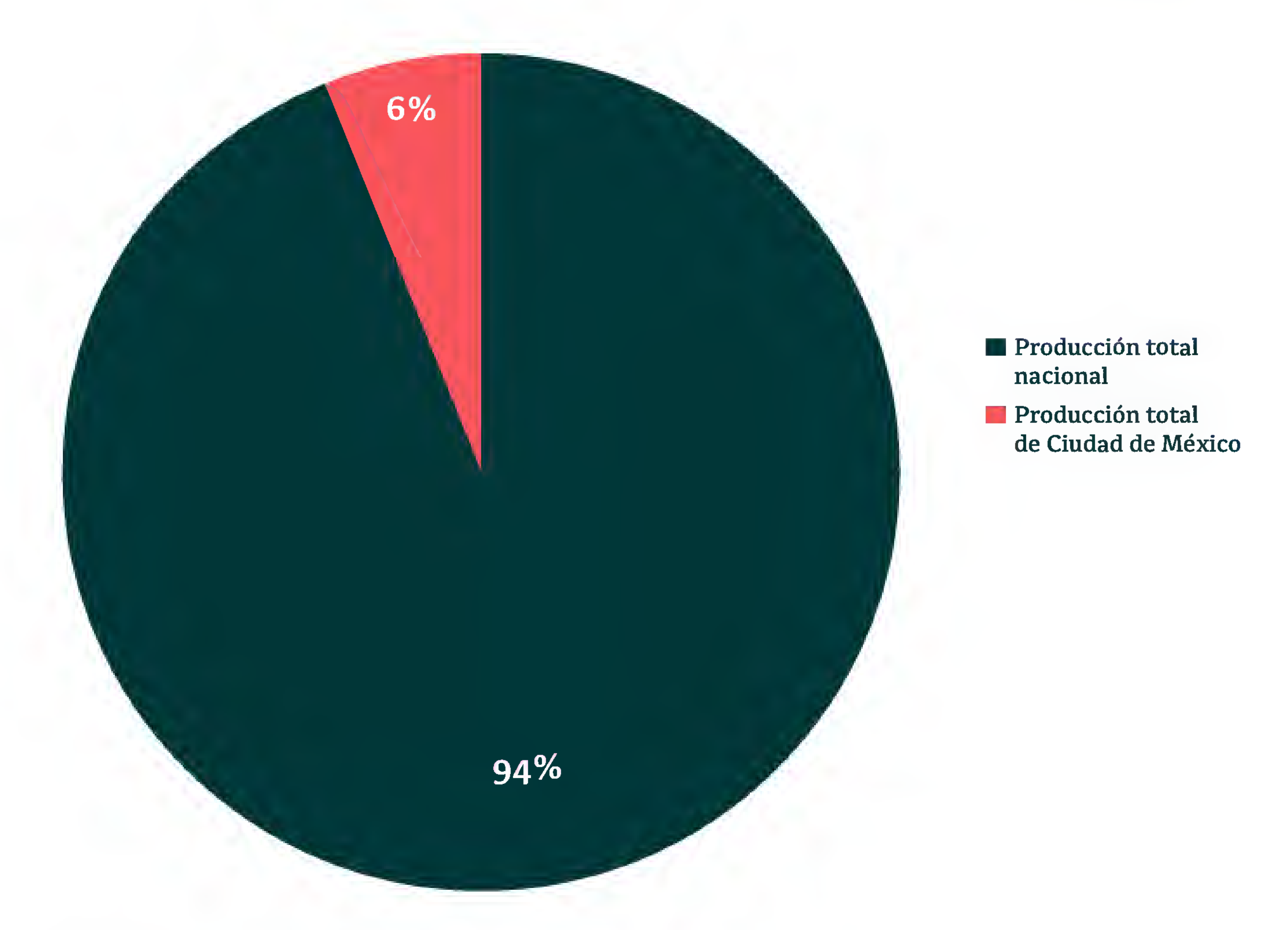


Figura 8. Porcentaje de la producción agrícola con respecto a la producción total nacional para el año 2010. Fuente: elaboración propia con información de SAGARPA 2012.

producen. En las áreas agrícolas de la entidad la producción del apio ha tenido fluctuaciones (figura 9), relacionadas con la tendencia a la baja a nivel nacional, así como con la disminución de los precios de venta (Almaguer-Vargas *et al.* 2012). En la Ciudad de México, 90% de la producción del apio se vende en la CEDA (Ayala-Garay *et al.* 2012 *a* y *b*). Los productos hortícolas y frutícolas también se expenden en otro tipo de mercados, como mercados ambulantes (tianguis) y regionales.

Sistemas de producción pecuaria

La producción pecuaria se refiere a las actividades destinadas a la cría, la reproducción, el mejoramiento, la explotación o el aprovechamiento de animales domesticados, para obtener distintos productos de ellos, como carne de ganado bovino (vacas), porcino (cerdos), ovino (borregos), caprino (cabras), aviar (pollo, pavo y otras aves) y cunicular (conejos), así como algunos subproductos como la miel, el huevo y la leche (figura 10) (Villegas *et al.* 2001).

La domesticación de animales silvestres fue reducida en todo el continente americano durante la epoca prehispánica (Diamond 1997). En esta región sólo se logró la crianza de guajolotes y patos. Antes de la introducción de la fauna domesticada de Europa, la carne no era consumida en grandes cantidades, por ejemplo, durante el período Clásico (250 a 900 d.C.) su consumo representaba menos de 1% de la dieta de los habitantes de la cuenca de México (Sanders *et al.* 1979), aunque previamente, en el período formativo (1500-800 a.C.) se consumía en cantidades considerables la carne de venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) y de peces que se extraían de los lagos (Serra-Puche y Valadez-Azúa 1989, Ezcurra *et al.* 2006). La extinción de los grandes mamíferos (lipodontes, antílopes, caballos silvestres, capibaras, camélidos, mastodontes, mamuts y bueyes, entre otros) (Halffter y Reyes Castillo 1975), y la escasez de otras especies como el guajolote silvestre (*Meleagris gallopavo*), aceleraron el desarrollo de la agricultura como respuesta a la creciente falta de alimento (Sanders *et al.* 1979, Ezcurra *et al.* 2006).

La introducción de mamíferos domesticados con diferentes fines fue uno de los cambios más relevantes y de mayor impacto generados por la conquista española y, posteriormente, en la época colonial. Una de las consecuencias

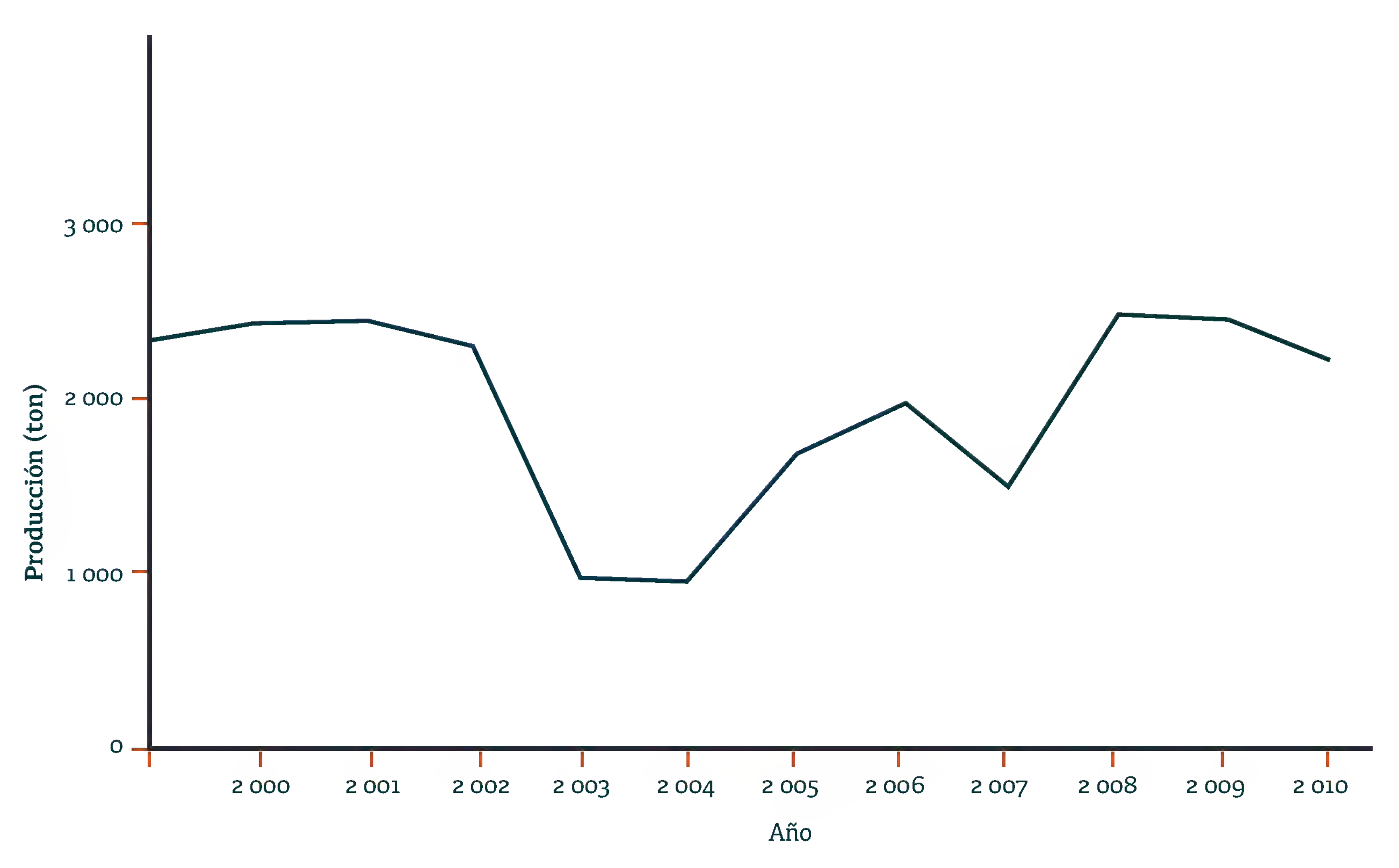


Figura 9. Tendencia de la producción de apio 1999 a 2010. Fuente: elaboración propia con información de SAGARPA 2012.



Figura 10. La producción de ganado vacuno (*a*), porcino (*b*) y la apicultura (*c*) son algunas actividades pecuarias realizadas en la entidad. Fotos: Alya Ramos, Miguel Angel Sicilia, Christian Dreckmann/ Banco de imágenes de CONABIO.

fue que se pasó de una dieta en la que las proteínas animales provenían de la caza y la pesca de animales silvestres a una basada en productos cárnicos de vacas, cerdos, borregos, cabras y aves de corral. Esto ocurrió principalmente entre las clases sociales dominantes, ya que los campesinos mantuvieron su dieta básica de maíz, frijoles y chile (Villegas *et al.* 2001). Este cambio fue progresivo, pero su impacto en el ambiente fue importante, pues además de la alteración de los sistemas naturales para abastecer las necesidades sin precedente de la nueva ciudad, fue necesario abrir espacios para las actividades pecuarias que eran totalmente novedosas. La utilización de productos agrícolas como el maíz, que antes de la conquista era exclusivamente para consumo humano, se comenzó generalizar con fines de alimentación de ganado. La creciente necesidad de contar con tierras de cultivo y de pastoreo trajo severas consecuencias ambientales como deforestación, pérdida de biodiversidad y problemas de erosión del suelo (Ezcurra 1990).

La producción pecuaria actual en la Ciudad de México es muy limitada y se concentra en las delegaciones Álvaro Obregón, Tlalpan, Cuajimalpa, Tláhuac y Xochimilco, aunque también existen algunas unidades de producción en Azcapotzalco e Iztapalapa. Tomando en cuenta la regionalización utilizada en este trabajo, el servicio de provisión de alimentos en el ramo pecuario se produce principalmente en los Bosques y Cañadas, Serranías de Xochimilco y Milpa Alta y en los Humedales de Xochimilco y Tláhuac. Según el censo ganadero de 2007, Milpa Alta y Tláhuac son las delegaciones que más actividad pecuaria registran, con 1 746 y 894 unidades de producción, respectivamente (figura 11) (INEGI 2007).

La producción pecuaria ha tenido un descenso continuo desde hace muchos años, y en fechas recientes se pasó de una producción total de 32 860 ton en 2002, a 17 419 ton durante 2011. La producción de huevo, ganado avícola, porcino y bovino muestra un descenso drástico, y el registro del ganado caprino se suspendió por completo desde 2002. La producción de ganado ovino y de miel se ha mantenido relativamente constante a lo largo del tiempo, pero con una productividad baja. El producto más importante es la leche de vaca, que registró una producción de 13 784 ton durante el 2011 (figura 12) (SAGARPA 2012), sin embargo, la producción de carne y de leche no es competitiva con la de otros estados, lo que dificulta su comercialización.

El producto de la actividad agropecuaria es un complemento de los ingresos de las familias que poseen tierras en el suelo de conservación. La cercanía con la ciudad y el incremento en el nivel educativo ha llevado a los hijos y los nietos de los ejidatarios y los comuneros a ocuparse en otras actividades del sector secundario y terciario (Sheinbaum 2008). Entre los factores que han causado este giro en el tipo de actividades que desarrollan los habitantes de las zonas rurales y periurbanas se encuentra el crecimiento de la mancha urbana tanto masivo como difuso (IGg e INE 2006). Lo anterior limita las actividades relacionadas con la producción agropecuaria al invadir las zonas en las que éstas se desarrollan. Una segunda causa es la pérdida de hábitats y su deterioro, incluyendo la contaminación del suelo y del agua, que han contribuido a disminuir la productividad, así como la rentabilidad de las actividades agropecuarias y extractivas, aun en el suelo de conservación (IG e INE 2006).

Producción piscícola

La riqueza y abundancia de peces de agua dulce en los lagos originales de la cuenca de México hacían posible la pesca con redes durante la época prehispánica. El grupo más abundante era el de los peces blancos o Aterínidos, llamados iztacmichin en náhuatl. Este grupo presentaba tres especies: *Chirostoma humboldtianum* que era muy codiciada como alimento fresco, *Chirostoma regani* y

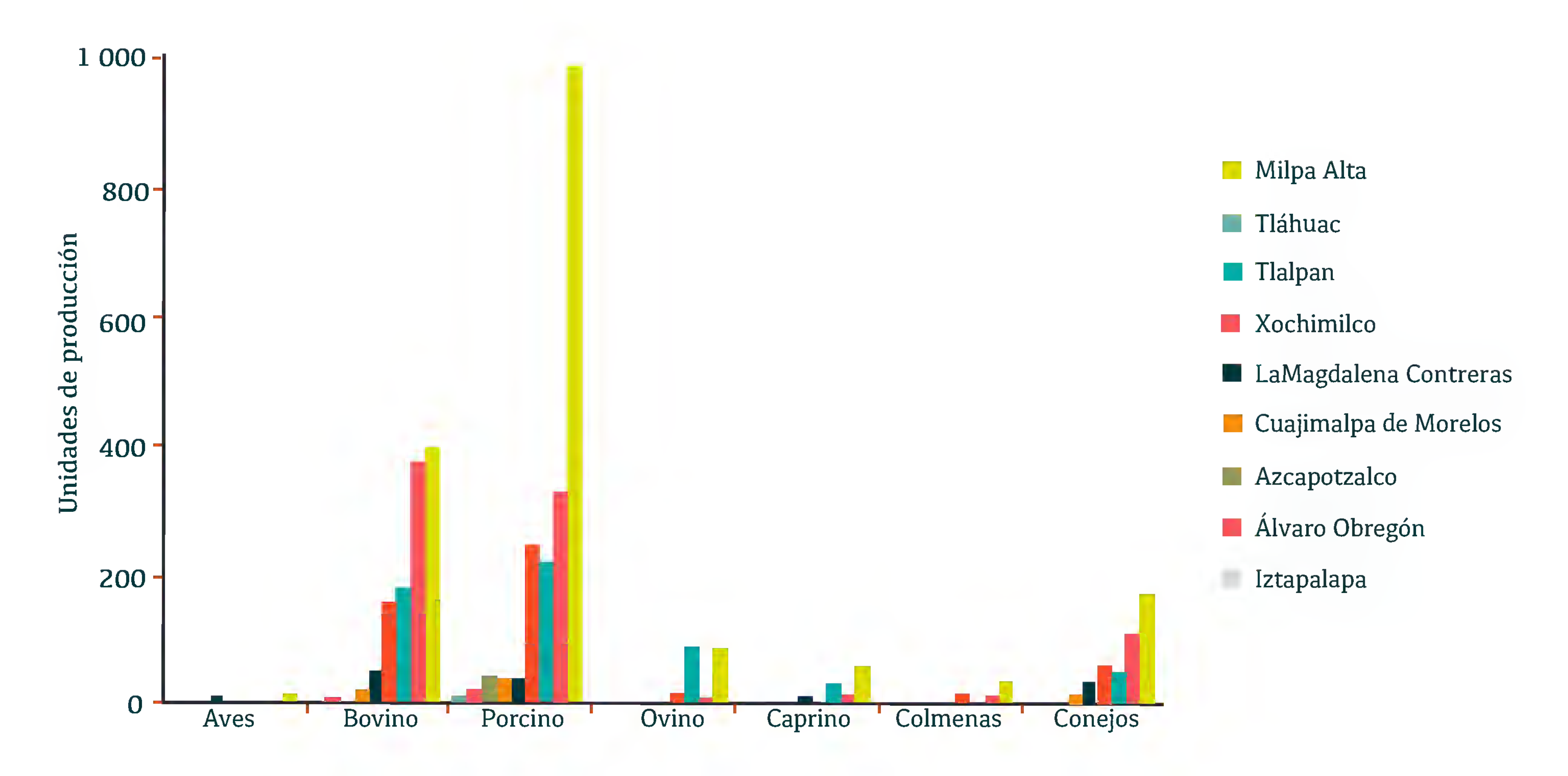


Figura 11. Unidades de producción pecuaria en las delegaciones por tipo de producto. Fuente: elaboración propia con información del INEGI 2007.

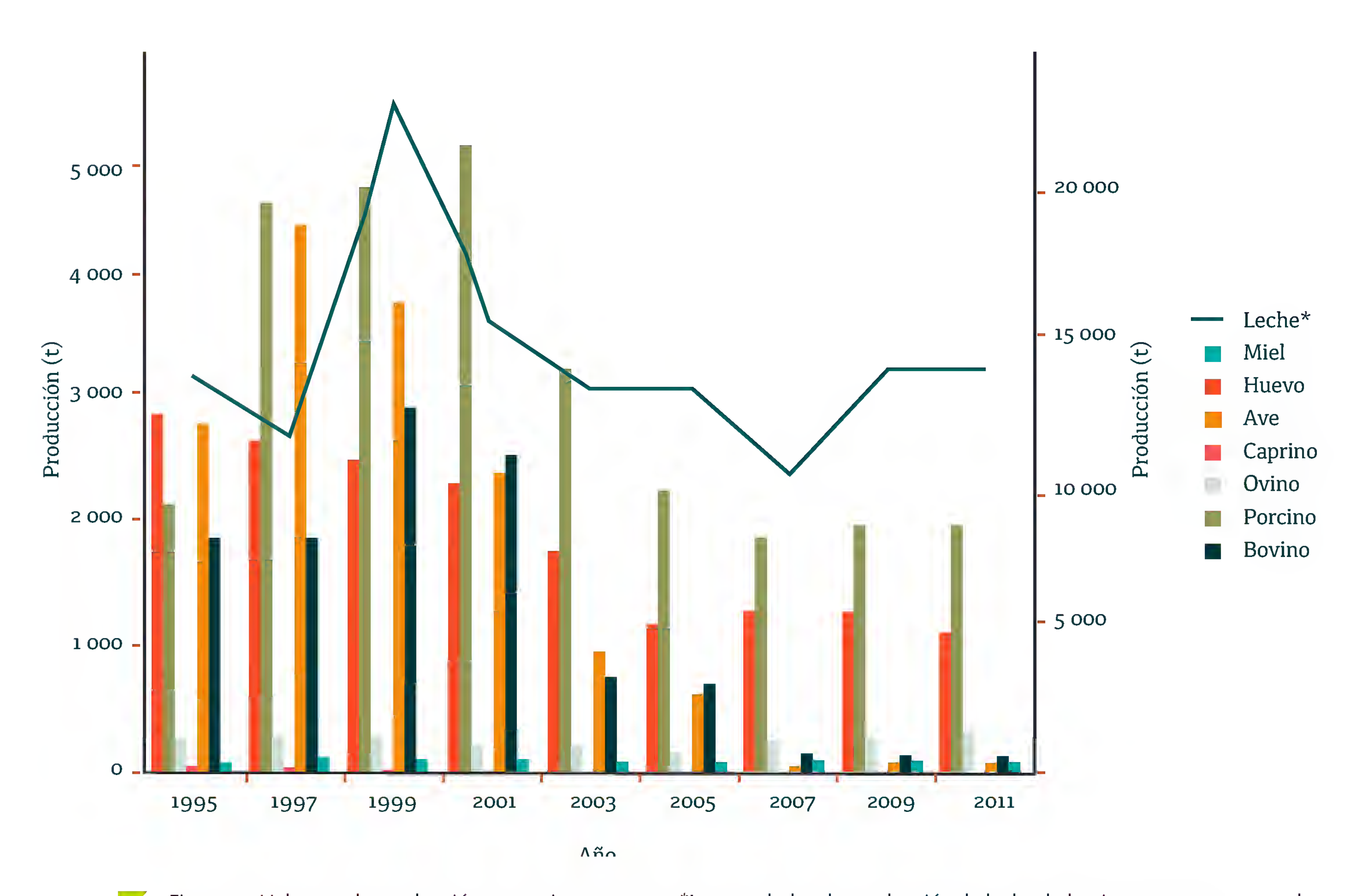


Figura 12. Volumen de producción pecuaria 1995 a 2011. *Las toneladas de producción de leche de bovino se presentan en el eje secundario de la gráfica, ubicado del lado derecho. Fuente: elaboración propia con información de SAGARPA 2012.

Chirostoma jordani. Esta última era la especie más pequeña, que se utilizaba como alimento deshidratado al sol y la conocemos actualmente como charal. Otros peces utilizados por los mexicas fueron los juiles (figura 13) (en náhuatl xuilin), que viven en los fondos barrosos y comprenden cuatro especies: *Algancea tincella* (la especie más abundante), *Evarra bustamantei*, *E. tlahuacensis* y *E. eigenmanni*, así como una especie conocida como cuitlapétotl o "pescado de vientre grande" (*Girardinichthys viviparus*) (Rojas-Rabiela 1998, Ezcurra 1990).

Asimismo, se consumía un gran número de pequeños organismos acuáticos, como algas, artrópodos (grupo diverso de animales invertebrados entre los que se incluyen insectos, arañas y crustáceos), y huevos de pescado. Los acociles (*Cambarellus montezumae*), pequeños crustáceos de unos 2 cm de largo, eran muy utilizados en el México antiguo y son todavía objeto de consumo común en Xochimilco (figura 13). Los axayácatl, conocidos actualmente como "mosco para pájaros" o "chinches de agua" (*Corisella mercenaria*, *C. texcocana*, *Krizousacorixa femorata*, *K. azteca*, *Graptocorixa abdominalis*, *G. bimaculata*), eran aprovechados en su estado adulto y como huevecillos (en este estado nombrados "ahuautle") (Ramos-Elorduy 2006). Varias larvas de insectos eran recolectadas y consumidas: las larvas de libélulas (aneneztli), las larvas de escarabajos acuáticos (ocuiliztac) y las larvas de moscas (izcauitli) (Ezcurra 1990). También se consumían -y a la fecha se consumen- algunos anfibios, entre los que destacan los ajolotes (*Ambystoma mexicanum*, *A. lacustris*, *A. carolinae*, *A. tigrinium* y *Siredon edulis*) y diversos invertebrados (Halffter y Reyes Castillo 1975, Rojas-Rabiela 1985, Niederberger 1987).

En el siglo XVIII, por iniciativa de Antonio Alzate, se iniciaron las primeras prácticas de acuicultura en el país, comenzando en los lagos de Zumpango (Estado de México) y Xochimilco, ambos en la cuenca de México (Ibáñez *et al*. 2011). Con la desaparición de los lagos, el servicio de provisión de alimento de origen acuático se vio muy afectado (Ezcurra 1990).

La mayor parte de las poblaciones de peces que actualmente se distribuyen en los cuerpos de agua son introducidas y están afectando los ecosistemas acuáticos. En los canales de Xochimilco, hace más de 20 años fueron introducidas carpas (*Cyprinus carpio*) y las tilapias (*Oreochromis niloticus* y *O. aureus*), como parte de un programa de acuicultura. Sus altas tasas de reproducción y la ausencia de una pesquería establecida dieron como resultado un aumento de la población de peces en los últimos 10 años. Actualmente, para remediar esta situación, existe un programa de eliminación de carpa y tilapia de los canales, mediante el cual se recogen aproximadamente 7.5 ton por semana. Entre los efectos ecológicos de estas especies introducidas se incluyen el aumento de la turbidez del agua por la suspensión de sedimentos provocados por las carpas, la reducción de la





Figura 13. *a*) Juil (*Rhamdia reddelli*; y *b*) acocil (*Cambarellus montezumae*; dos especies acuáticas que se pescaban en la zona lacustre de la cuenca de México, durante la época prehispánica. Foto: Emilio Martínez Ramírez, Marilú López Mejía/Banco de imágenes de CONABIO.

calidad del agua y la reducción de abundancia de especies nativas como el ajolote (*Ambystoma mexicanum*) (figura 14) (Zambrano *et al.* 2010). Cabe mencionar que aunque la acuicultura en general y la piscicultura en particular han sido consideradas como una alternativa para la producción de alimento animal, sus efectos ambientales hacen que, cuando menos, deba ser tomada con reservas (SAGARPA 2010). En un sistema tan alterado como lo es la cuenca de México, la introducción de más especies exóticas, que son potencialmente invasoras, debe ponderarse con extremo cuidado.

Actualmente, la pesca y la acuicultura en Xochimilco no tienen relevancia económica. Como ejemplo de la práctica reducida de la acuicultura podemos mencionar que la tilapia se produce de manera comercial en todas las entidades federativas del país menos en Aguascalientes y la Ciudad de México (SAGARPA 2011).

En la entidad existen 11 unidades productivas que realizan la acuicultura, ubicadas en seis delegaciones políticas, cinco corresponden al área rural y una al área urbana. En dichas unidades se producen truchas (*Oncorhynchus* spp.) y carpas, y en conjunto suman una superficie de 7.28 ha, con un volumen inundado de 1 362 m^3. La producción se estima en 800.9 ton/año, beneficiando a 37 productores que integran 24 familias dedicadas al manejo y operación de las unidades de producción acuícola (SEDEREC 2010).



Figura 14. Ajolote (*Ambystoma mexicanum*), una especie nativa amenazada por la introducción de especies de peces como la carpa y la tilapia. Foto: Manuel Grosselet/ Banco de imágenes de CONABIO.

Cacería

En la época prehispánica y al principio de la colonia, en la cuenca de México existía una rica fauna en los cuerpos de agua y sus inmediaciones (cuadro 2), los cuales eran aprovechados como fuente de alimento mediante la pesca y la cacería (Ezcurra *et al.* 2006). Desde épocas muy tempranas de la ocupación humana de la región, las actividades relacionadas con la cacería provocaron la desaparición de animales de caza, lo que forzó a los habitantes de las orillas de los lagos a utilizar una gran variedad de anfibios, reptiles, aves y mamíferos como fuentes de proteína animal (Ezcurra 1990). Entre los animales de caza que se vieron erradicados destacan los grandes ungulados, entre los que se encuentran el berrendo (*Antilocapra americana*), el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), el venado bura (*Odocoileus hemionus*) y el pecarí de collar (*Pecari tajacu*) (figura 15).

El guajolote silvestre (*Meleagris gallopavo*) era también abundante en los ecosistemas forestales, y fue una importante pieza de caza hasta el siglo XVII. Su desaparición progresiva de la región se debió a la cacería intensa a que se vieron sometidas sus poblaciones silvestres y a la desaparición de su hábitat natural. A diferencia de las especies antes mencionadas, las poblaciones de animales asociadas a los lagos de la cuenca comenzaron a desaparecer rápidamente por la degradación y la contaminación de su hábitat (Ezcurra 1990), como en el caso del ajolote (*Ambystoma velasco*) y de numerosas aves acuáticas como el pato mexicano (*Anas diazi*) y la gallina de agua (*Fulica americana*) (Alcántara *et al.* 2001). Las aves acuáticas fueron la fauna característica de la región lacustre, y se han visto seriamente afectadas por los cambios ambientales de la cuenca de México (Rojas-Rabiela 1998, Alcántara *et al.* 2001, Ezcurra 1990).

Cuadro 2. Fauna aprovechada mediante su caza en la época prehispánica a principios de la época de la Colonia.

Grupo biológico	Nombre científico	Nombre común
Anfibios	*Ambystoma mexicanum*	Ajolote
	Ambystoma lacustris	Ajolote
	Ambystoma carolinae	Ajolote
	Ambystoma tigrinum	Ajolote
	Siredon edule	Salamandra
Reptiles	*Thamnophis* sp.	Culebra de agua
	Kinostenon integrum	Tortuga
	Kinostenon pennsylvanicum	Tortuga
	Onichotria mexicana	Tortuga
Aves acuáticas	*Anas* spp.	Patos
	Anser albifrons	Ganso
Mamíferos	*Didelphis marsupialis*	Tlacuache
	Sorex sausseri	Musaraña
	Dasypus novemcinctus	Armadillo
	Lepus callotis	Liebre
	Sylvilagus floridanus	Conejo
	Sylvilagus cunicularius	Conejo
	Romerolagus diazi	Teporingo
	Sciurus aureogaster	Ardilla
	Spermophilus mexicanus	Ardilla
	Spermophilus variegatus	Ardilla
	Pappogeomys merriami	Tuza
	Pappogeomys tylorhinus	Tuza
	Microtus mexicanus	Ratón
	Peromyscus melanotis	Ratón
	Peromyscus maniculatus	Ratón
	Peromyscus truei	Ratón
	Neotomodon alstoni	Ratón
	Puma concolor	Puma
	Leopardus pardalis	Ocelote
	Lynx rufus	Lince
	Canis latrans	Coyote
	Urocyon cinereoargenteus	Zorra
	Bassariscus astutus	Cacomixtle
	Procyon lotor	Mapache
	Mephitis macroura	Zorrillo
	Mustela frenata	Comadreja
	Taxidea taxus	Tlalcoyote

Fuente: Niederberger 1987, Ezcurra 1990 y Ezcurra *et al.* 2006.





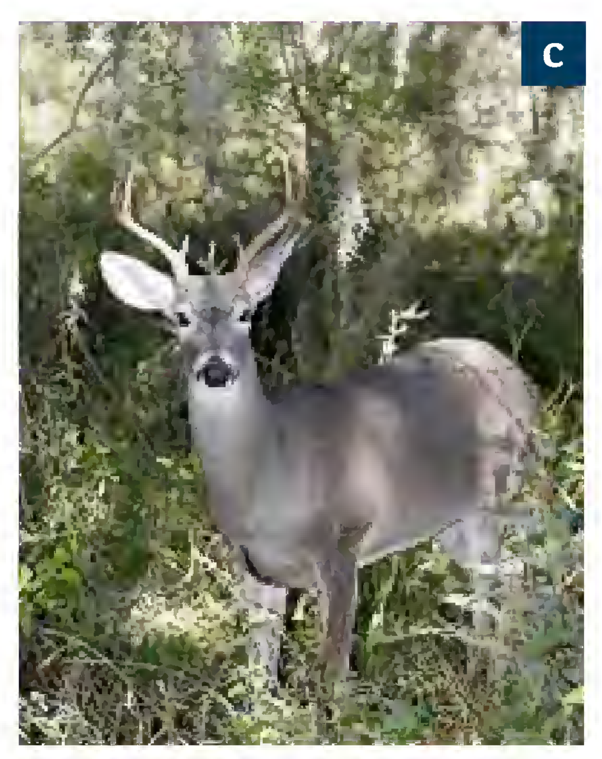


Figura 15. Grandes ungulados que desparecieron en tiempos muy tempranos de la ocupación humana de la región: *a*) berrendo (*Antilocapra americana*), *b*) pecarí (*Pecari tajacu*) y *c*) venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*). Fotos: *a*) Alejandro Boneta, *b*) Manuel Grosselet y *c*) Carlos Javier Navarro Serment/Banco de imágenes de CONABIO.

Conclusión y recomendaciones

La diversidad de ecosistemas que existen en la Ciudad de México y el valioso conocimiento ancestral de los sistemas de producción agrícola han permitido a través de la historia la existencia de una gran cantidad de productos alimenticios. Sin embargo, los cambios en las actividades productivas, la ausencia de cadenas de transformación que le añadan valor económico a los productos agropecuarios en el mercado y el poco desarrollo de sistemas de distribución colectivos o individuales organizados que rebasen el ámbito local, son los factores fundamentales para el abandono de las actividades agropecuarias (Torres-Lima y Rodríguez-Sánchez 2006). Dichas circunstancias junto con la reducción de las superficies aptas para realizar estas actividades agropecuarias debido al crecimiento de la mancha urbana, han provocado una reducción de la capacidad para generar el SE de provisión de alimentos, por lo cual muchos de éstos se importan de otras entidades federativas.

La pérdida de los SE de provisión de índole alimentario no sólo ha hecho a la entidad extremadamente dependiente del suministro de alimentos de otros estados, si no que es un síntoma más de la severa degradación ambiental de esta entidad, que implica, entre otras cosas, una gran pérdida de biodiversidad y una afectación al conjunto de SE. Además representa el fin de prácticas que permitieron el desarrollo de una cultura avanzada y en muchos sentidos excepcional, aunque no totalmente autosuficiente ni sustentable.

A pesar de que la producción de alimentos no representa una fuente de ingreso considerable en la actualidad, y de su tendencia a disminuir, su pérdida implica un cambio importante en los estilos de vida predominantes en las zonas periurbanas y rurales de la Ciudad de México, al igual que sucede alrededor de otras ciudades grandes e intermedias del país (Bazant 2001, Pisanty *et al*. 2009).

La permanencia y mejora, orientada a la sustentabilidad, de los sistemas productivos apoyados por sistemas comerciales justos, permitiría mantener algunos servicios ecosistémicos fundamentales como la captura de agua, además de los culturales y los espirituales. Existe en este rubro la necesidad de explorar mercados alternativos que hagan a las actividades productivas una fuente confiable de recursos económicos.

Se recomienda emprender programas para mejorar las capacidades tecnológicas y comerciales de los productores, con un enfoque de conservación de los recursos naturales acompañado de una diversificación de mercados, lo cual permitirá aumentar la oferta de este SE, mejorar la calidad de vida de los productores y reducir el avance de la urbanización. Los sistemas de producción agrícola tradicionales y las especies nativas empleadas en ellos, tienen un alto valor cultural y ambiental, por lo que deben ser atendidas de manera prioritaria.

Por el volumen comparativamente bajo de la producción agrícola de la Ciudad de México sería útil fortalecer el consumo y la comercialización a nivel local, a través de estrategias de comercialización de pequeña escala y de mercados justos que eviten los resultados poco deseables de la intermediación que caracteriza a la CEDA. Si esto se lograra, los beneficios recibidos por los productores serían mejores y representarían un incentivo para la producción agrícola y el consumo local. Igualmente, la diferencia entre el precio al que los productores venden y el que pagan los consumidores se podría abatir y sería posible ampliar mercados nuevos como el de los productos orgánicos, aprovechando el alto nivel de exigencia que tienen algunas esferas sociales de la Ciudad de México. Finalmente, sería posible recuperar las prácticas tradicionales e implementar otras más modernas pero sustentables, así como incentivar la incorporación de estos criterios en otras formas de producción a fin de conservar los SE. De lograrse esto, la comercialización de los productos agrícolas de la ciudad sería competitiva y se rescataría su importancia ambiental, cultural y económica.

La desaparición y contaminación de los cuerpos de agua han provocado el desuso de sistemas de producción, que en la época prehispánica fueron importantes para la generación de alimentos, como las chinampas y la pesca y, junto con ellos se ha perdido también una gran diversidad culinaria. Así, por ejemplo, las especies de peces de los diferentes lagos se fue perdiendo conforme los lagos fueron secados, al igual que sucedió con las aves acuáticas residentes y migratorias, algunas de las cuales se extinguieron como consecuencia de la pérdida o de la fragmentación excesiva de su hábitat (Ezcurra *et al.* 2006). Desafortunadamente, este proceso sigue en curso en la actualidad. Adicionalmente, muchas especies han sufrido severamente los estragos de la contaminación acuática y atmosférica, por lo que los peces de la región chinampera, que antaño fueron una fuente substancial de proteínas, sufren una merma en sus poblaciones y presentan un riesgo al consumirse por los niveles de contaminantes y bacterias nocivas presentes.

Es urgente redoblar los esfuerzos para el manejo de los sistemas agropecuarios y acuícolas mediante la implementación de prácticas de conservación de suelo y agua, reducción de sustancias agroquímicas, control de prácticas de alto impacto como la rosa, tumba y quema, y controlar la introducción de especies en ecosistemas acuáticos como la tilapia y la carpa.

Agua dulce

El servicio de provisión de agua dulce es fundamental para la realización de actividades humanas, siendo prioritaria el agua para uso y consumo humano, así como la utilizada para diversas actividades productivas (Balvanera y Cotler 2009). Se relaciona con otros servicios como la regulación de la calidad del agua y el

ciclo hidrológico que es un servicio de soporte (Vörösmarty *et al.* 2005).

Los ecosistemas participan en la generación de este SE debido a que permiten mantener la disponibilidad de agua. En ellos se lleva a cabo la infiltración del agua de lluvia que se deposita en sistemas subterráneos denominados acuíferos. En este proceso el agua transita durante un periodo de tiempo muy variable (días e incluso miles de años) a través del suelo y las rocas, hasta llegar a los acuíferos, donde es almacenada y se puede aprovechar mediante pozos. También puede encontrar una salida en los manantiales que alimentan a los arroyos y los ríos, permitiendo que éstos tengan agua todo el año, lo que representa un beneficio para las sociedades humanas. Los volúmenes de infiltración dependen de factores como la precipitación, la temperatura del ambiente, el tipo y estado de conservación de la vegetación, la pendiente del terreno, y las características del suelo y las rocas que conforman el subsuelo (Maderey y Jiménez 2005).

Estimar la aptitud de infiltración permite inferir la capacidad de los ecosistemas para generar el SE de provisión de agua. Más de 50% del suelo de conservación (SC) contribuye de manera importante a la generación de este SE, ya que 23% del territorio tiene una aptitud de infiltración que va de "muy alta" a "alta"; y 34% presenta aptitud de infiltración "media". Las zonas con mayor aptitud para la infiltración se localizan en la región Bosques y Cañadas del sur poniente: al suroeste del poblado de San Lorenzo Acopilco en Cuajimalpa de Morelos, en la zona de influencia de los Dinamos en La Magdalena Contreras, en los volcanes Quepil y Malacatepec en Tlalpan y al suroeste de los poblados de San Salvador Cuauhtenco y San Pablo Oztotepec en Milpa Alta. También hay una zona con alta infiltración en la región Sierra de Santa Catarina en Tláhuac e Iztapalapa (GDF 2012).

En el caso del Ajusco el tipo de suelo y la precipitación alta determinan una elevada infiltración por lo que sus zonas conservadas son un importante sitio de recarga del acuífero de la cuenca (Bonfil *et al.* 1997). Asimismo el sistema de flujo superficial del río Magdalena (figura 16), es uno de los últimos cauces perennes con agua de buena calidad en la Ciudad de México (SMA 2000, SMA y UNAM 2008), y sus ecosistemas permiten la recarga del acuífero, el afloramiento de manantiales y la alimentación del río durante todo el año (Almeida-Leñero *et al.* 2007, González-Martínez 2008, Jujnovsky *et al.* 2010 y 2012).

Factores como la urbanización, la deforestación y la alteración de la cubierta forestal afectan la capacidad de infiltración del agua. En las delegaciones Tlalpan, Milpa Alta, Cuajimalpa de Morelos y Xochimilco existen zonas con importante aptitud de infiltración pero que al mismo tiempo presentan un mayor cambio de uso de suelo, por lo que su capacidad para prestar este SE está disminuyendo. De 1986 a 2010 se perdieron y degradaron 10 700 ha de bosques conservados del SC (GDF 2012), en ocasiones debido a la tala clandestina. Esta problemática se suma a los cuatro siglos de desecación artificial de la cuenca de México y al entubamiento de los cauces naturales, que han provocado una alteración del ciclo hidrológico que, a su vez, está exacerbando la problemática de abastecimiento de agua en la entidad. Los efectos de estos procesos incluyen la desaparición de manantiales, la desecación de lagos, el hundimiento del terreno y la disminución de la recarga por sellamiento, así como la contaminación de cuerpos de agua superficial y la contaminación de los acuíferos (Escolero-Fuentes *et al.* 2009).

La creciente demanda de agua en la ciudad se atiende con fuentes de abastecimiento propias, como el acuífero denominado zona metropolitana de la Ciudad de México, que es explotado mediante pozos que aportan 17.9 m^3/seg, equivalentes a 57% del abastecimiento (SACAM 2010). Otras fuentes propias corresponden al río Magdalena, y los 18 manantiales que se ubican en la parte oeste y suroeste de la capital, todos estos dentro del SC, mientras que los manantiales Fuentes

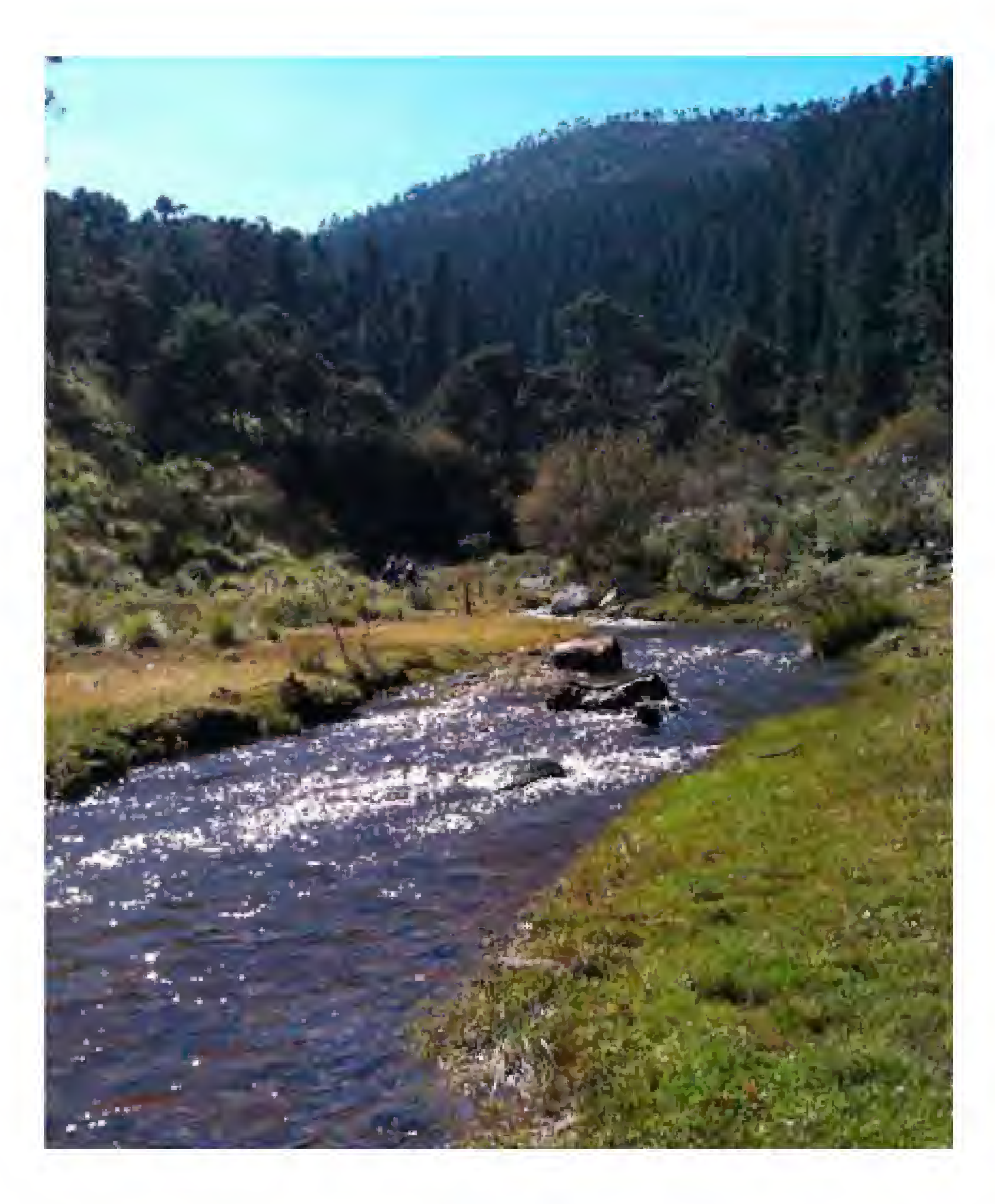


Figura 16. Río Magdalena al sur poniente. Escurrimiento con muy buena calidad que provee agua a la ciudad durante todo el año. Foto: Alya Ramos 2011.

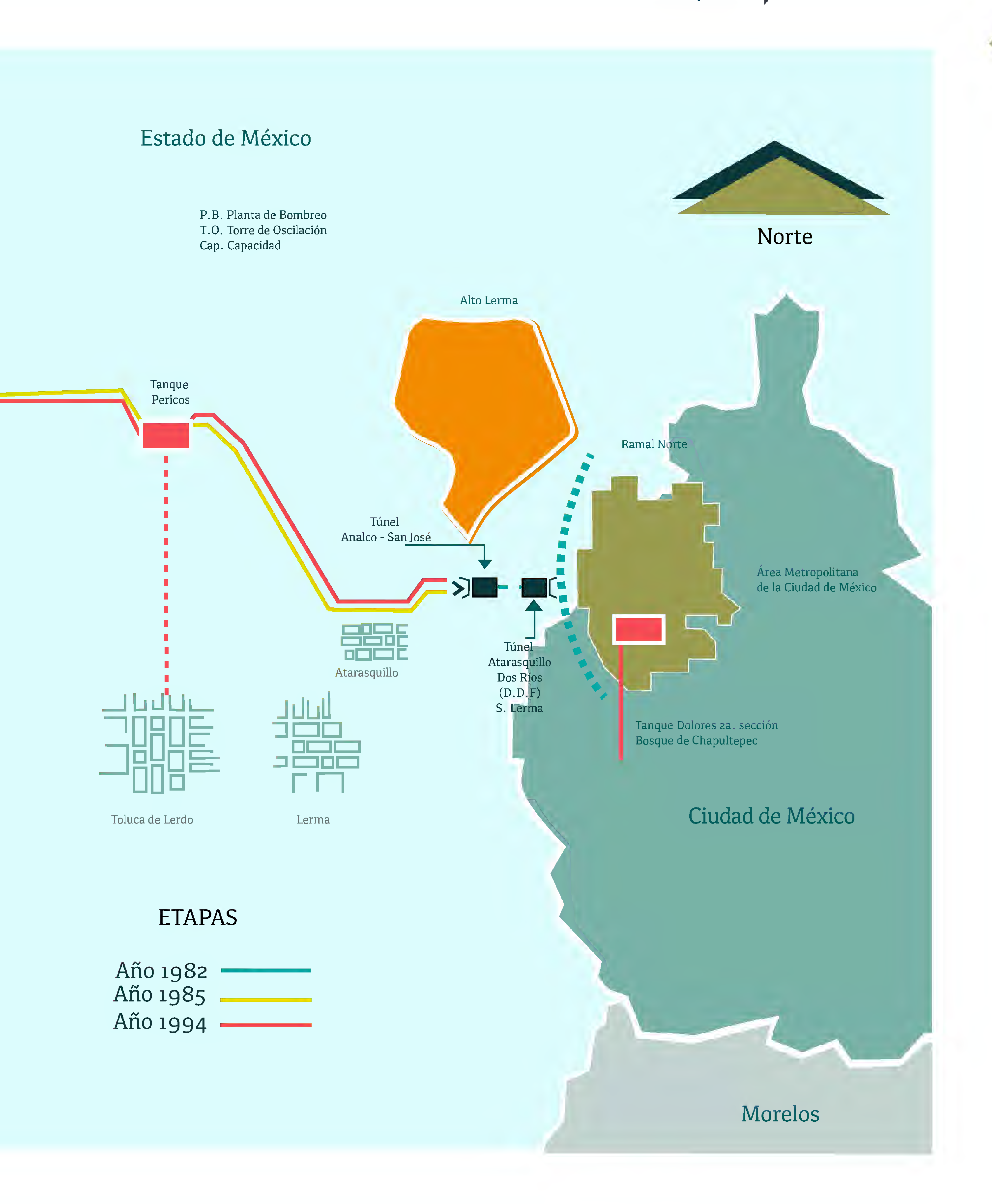
Brotantes, Peña Pobre y Santa Fe se ubican en la zona urbana (Escolero-Fuentes *et al.* 2009). En conjunto, estos cuerpos de agua aportan aproximadamente 3% del abastecimiento de agua de la entidad, a razón de 1 m^3/seg.

A pesar de que esta entidad federativa se estableció sobre un sistema lacustre rico en recursos hidrológicos, desde hace más de 60 años ha sido necesario importar líquido de otras zonas, debido a que la demanda de agua sobrepasó la capacidad local de generar el SE de provisión de agua. En 1951 se puso en operación el Sistema Lerma, que exporta agua del Estado de México hacia la Ciudad de México, inicialmente se explotaron algunos manantiales y, posteriormente, una batería de pozos que actualmente extraen 3.8 m^3/s del acuífero del Valle de Toluca (GEM y UACH 2010). Adicionalmente, en 1982 se implementó el Sistema Cutzamala, que aprovecha el agua de la cuenca alta del río del cual tomó su nombre. Este sistema transporta agua, a la que se le realiza un proceso de potabilización, procedente de dos presas ubicadas en Michoacán y cinco en el Estado de México a través de un sistema de ductos y canales de aproximadamente 240 km (CONAGUA 2005). De esta manera aporta 9 m^3/s de agua a la Ciudad de México (28% del suministro total) (SACM 2010, figura 17).

A diferencia del resto de las entidades federativas de México, en la capital el agua concesionada se utiliza, en su mayoría, para el uso público urbano (figura 18). En el 2008 se concesionaron para esta entidad 309 831 696 m^3/año de agua superficial y 813 054 201 m^3/año de agua subterránea, volumen que se ha mantenido relativamente estable en los últimos años (figura 19). Sin embargo, la población ha ido



Figura 17. Esquema del Sistema Cutzamala, el cual abastece una parte del agua potable que se consume en la Ciudad de México. Planta de bombeo (P.B.), torre de oscilación (T.O.) y capacidad (CAP). Fuente: Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental A.C. 2016, modificado CONAGUA 2005.


Estado de México
P.B. Planta de Bombreo
T.O. Torre de Oscilación
Cap. Capacidad
Norte
Alto Lerma
Tanque
Pericos
Ramal Norte
Túnel
Analco - San José
Área Metropolitana
de la Ciudad de México
Atarasquillo
Túnel
Atarasquillo
Dos Ríos
(D.D.F)
S. Lerma
Tanque Dolores 2a. sección
Bosque de Chapultepec
Toluca de Lerdo
Lerma
Ciudad de México
ETAPAS
Año 1982
Año 1985
Año 1994
Morelos

creciendo, lo cual significa que cada vez hay menos disponibilidad de agua per cápita, es decir, en 2003 se disponía de 356 L/hab/día y para el año 2008 la cifra disminuyó a 350 L/hab/día. Las tendencias indican que la cantidad de agua disponible para los habitantes seguirá disminuyendo, tanto por el aumento en la población, como por la reducción del volumen concesionado de agua (CONAGUA 2009).

Un problema severo que enfrenta el manejo de agua en la ciudad es que se pierden grandes cantidades de agua por la ineficiencia de la red de suministro, debido al mal estado de llaves y tuberías, y por fugas (SAM y SACM 2007).

Otro factor que puede afectar en el futuro el abastecimiento del agua es el cambio climático. De acuerdo con Escolero-Fuentes *et al.* (2009), se espera una disminución de la disponibilidad natural del agua debido a un clima más extremoso, con lluvias y sequías más intensas, y a una menor capacidad de las cuencas para amortiguar y regular estos efectos. Si bien no se puede contar con una predicción precisa, los efectos del cambio climático deben ser considerados al generar políticas de abastecimiento y uso del agua en la entidad, donde además de las limitaciones ya mencionadas hay grandes diferencias en el acceso que los habitantes de diferentes zonas de la ciudad tienen.

Conclusión y recomendaciones

La población de la Ciudad de México depende en gran medida de las fuentes propias de abastecimiento de agua (acuífero, manantiales y río Magdalena), sin embargo la alteración del ciclo hidrológico, el crecimiento en la demanda de agua, la sobrexplotación del acuífero y la disminución y el detrimento de las áreas de recarga, están poniendo en serio peligro la generación de este SE, aumentando la dependencia respecto a las fuentes externas.

El hecho de que se importe agua desde hace más de 60 años indica que el uso del agua no es sustentable y que los SE relacionados con la disponibilidad del agua para uso humano están en estado crítico desde hace mucho. Además, su disponibilidad para los procesos ecológicos que subyacen a los SE está severamente afectada. Este último aspecto no está cuantificado y requiere urgentemente de estudios especializados.

Es imprescindible evaluar los problemas que la alteración del ciclo hidrológico genera en los procesos ecológicos, en los remanentes de los sistemas naturales y en el suelo de conservación, pues el agua no es solo parte de los servicios de provisión, también es fundamental para los de soporte. En estas evaluaciones es necesario considerar los posibles efectos del cambio climático sobre este SE.

Recursos maderables y no maderables

Este SE se define como la capacidad de los ecosistemas forestales para proveer materiales vegetales útiles a las actividades humanas. Estos materiales vegetales se pueden dividir en maderables, que incluyen la madera para la escuadría (material destinado a la producción de tablas, tablones, vigas, material de empaque y cuadrados para herramienta, figura 20), el papel, la chapa, el triplay y la leña; y en no maderables, que agrupan a la tierra de monte, las resinas (figura 21), las fibras, las ceras, los frutos, los hongos y las plantas vivas, entre otros (SEMARNAT 2003).

Este servicio se relaciona para su generación con otros SE como el hábitat, la productividad primaria, la formación y retención de suelo, y la polinización. También contribuye a la generación de otros SE como la regulación del clima, la provisión de agua y recursos genéticos, la belleza escénica, la recreación y el ecoturismo.

La mayor parte de los bosques de la ciudad se encuentran dentro de la región denominada Bosques y Cañadas, además de una pequeña fracción en la Sierra de Guadalupe. Actualmente, estas masas forestales, que forman parte del SC, albergan un importante volumen de productos maderables y no maderables, a pe-

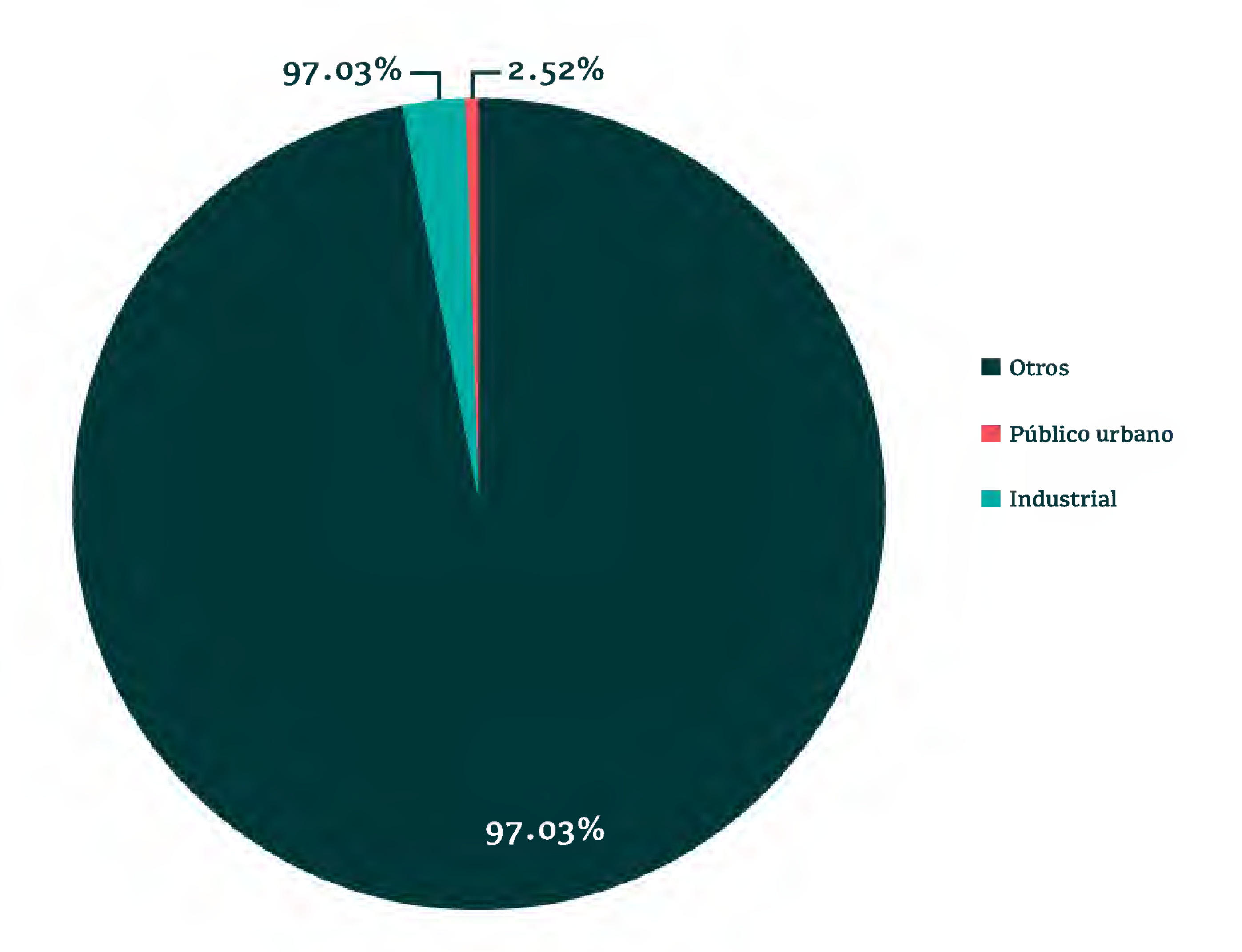


Figura 18. Porcentaje del agua concesionada para distintas actividades. En "otros" se agrupan las actividades agrícolas, domésticas con pozo propio, acuicultura, servicios y múltiple. Fuente: elaboración propia con información de CONAGUA 2009.

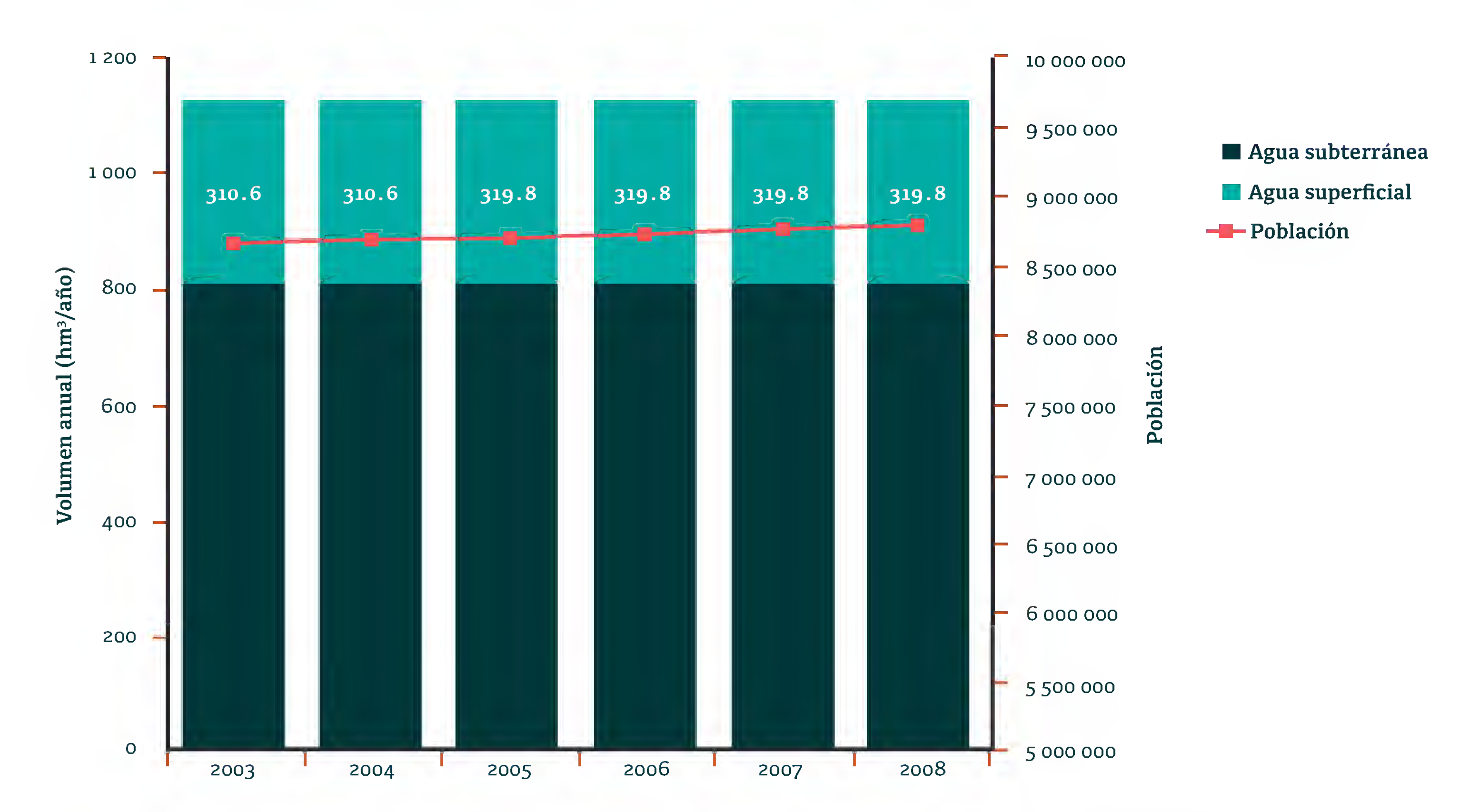


Figura 19. Tendencias en el volumen de agua concesionado y crecimiento poblacional de habitantes. (2003-2008). *El número de habitantes se presenta del lado derecho de la gráfica y corresponde a una proyección generada con los censos y conteos de INEGI de los años 2000, 2005 y 2010. En las barras se indica la cifra exacta de agua utilizada por rubro. Fuente: elaboración propia con información de CONAGUA 2009.

Figura 20. Madera de escuadría de oyamel procesada para elaborar cajas de empaque. Foto: Mauricio Guido Alegría/Banco de imágenes de CONABIO.



Figura 21. La resina de los pinos es un producto no maderable que se extrae para usos tradicionales e industriales. Foto: Adalberto Ríos Szalay/Banco de imágenes de CONABIO.

sar de que históricamente han sido sobreexplotados (Ezcurra *et al.* 2006).

Aspectos históricos vinculados a la provisión de recursos maderables y no maderables

Durante la época de la Colonia, las partes bajas de las laderas y el piedemonte de las montañas fueron gravemente deforestados debido a que se extraían alrededor de 25 000 árboles anualmente para utilizar la madera en la construcción de la ciudad (Ezcurra 2005). Algunos pueblos (Totolapan, San Miguel Ajusco, Magdalena Contreras, Tizapán y Milpa Alta) extraían leña para elaborar carbón vegetal (que era la principal fuente de combustible en esa época), madera, raíz de zacatón (usada para fabricar canastas, escobas y para forraje), hongos, trementina y hierbas medicinales. Estos productos se aprovechaban para uso doméstico y/o comercial (figura 22) (Vitz 2012).

Durante el Porfiriato, el gobierno privilegió la explotación de los bosques por parte de la élite industrial de la época, aprovechando las nuevas oportunidades económicas. Los pocos montes comunitarios que no fueron absorbidos por las haciendas fueron explotados frecuentemente y de manera ilegal, por las fábricas de papel y las textiles del río Magdalena, que a principios del siglo XX empezaron a usar celulosa. Algunas haciendas, como Eslava, Coapa y Xíco, lograron apropiarse de importantes recursos forestales, despojando a las comunidades de sus tierras. El ferrocarril requirió del material para construir estaciones, fabricar durmientes para las vías férreas y para producir energía, asimismo aumentó la explotación de madera al fomentar la aparición de nuevas industrias (Vitz 2012).

Después de 1910, la política forestal se acopló a los imperativos revolucionarios, y esto permitió que los campesinos reclamaran sus tierras y otros recursos perdidos a lo largo de su historia. Desafortunadamente, la política forestal y de repartición de tierras no incluyó en ningún momento criterios ambientales, a pesar de la intensa actividad que Miguel Ángel de Quevedo había desarrollado a favor de la conservación de las zonas boscosas de la capital (Carabias *et al.* 2008). El gobierno cardenista (1934-1940) buscó usar las cooperativas para educar al campesinado, dirigir la explotación de los bosques y liberarlos de los acaparadores. No obstante, debido a la importancia de los bosques de la sierra del Ajusco y de la Cuenca de México en general, la preservación de los bosques tenía más peso que en otras partes del país. El gobierno rara vez concedía permisos para talar árboles vivos en estas zonas, y generalmente optaba por solo permitir la recolección de madera muerta. Si bien estas medidas





Figura 22. Productos maderables y no maderables aprovechados por los pobladores del sur de la ciudad en la época de la Colonia. a) Carbón vegetal y b) raíz de zacatón. Fotos: Diana Kennedy, e Inti Burgos/Banco de imágenes de CONABIO.

pretendían poner fin a la sobrexplotación forestal, resultaron un incentivo perverso que promovió prácticas ilegales, como talar sin permiso o explotar zonas marcadas como reservas (Carabias *et al.* 2008).

En 1917 la fábrica de papel Loreto y Peña Pobre, cuyas instalaciones se encontraban en la Ciudad de México, comenzó a elaborar celulosa, con lo que se inició un aprovechamiento intensivo de los bosques de la Ciudad de México. Como primera opción se buscó adquirir los bosques privados de las sierras de Las Cruces y Ajusco-Chichinautizn, pero resultaron insuficientes para cubrir la demanda, por lo que se hicieron contratos de compra venta con los campesinos de los bosques de Contreras, Ajusco y Milpa Alta (Salvia 1989).

Durante el gobierno de Lázaro Cárdenas del Río muchas comunidades perdieron el control de sus bosques a manos de las empresas papeleras, a pesar del interés explícito del presidente y su equipo (en el que se encontraba el propio Miguel Ángel de Quevedo) de proteger a las formas tradicionales de producción al mismo tiempo que se impulsaban sistemas "modernizadores" (Simonian 1999). Entre las medidas que se tomaron durante este periodo estuvo la declaración de reservas forestales, en las que se requería de un permiso gubernamental para poder cortar árboles tanto por individuos como por las comunidades. A pesar del impulso previsto en la Ley Forestal (1926) para la conservación de los bosques y para lo que hoy se reconoce como prácticas sustentables, la fábrica de papel Loreto y Peña Pobre disfrutó de varias concesiones para utilizar los bosques de la sierra del Ajusco durante ese sexenio. Además, al crear algunos parques nacionales en la cuenca a fin de protegerlos de la sobreexplotación y el deterioro, no se tomó en cuenta a las comunidades que vivían en ellas y que en muchos casos eran sus legítimas propietarias. Por esto los pobladores sintieron que la protección (diseñada con criterios clásicos que excluyen toda actividad del área protegida) era un obstáculo para el uso de los bosques por parte de los campesinos (Vitz 2012). Cabe mencionar que este problema no es privativo de la ciudad, pues se ha presentado frecuentemente a lo largo de todo el país (Urquiza 2009).

El presidente Manuel Ávila Camacho a través del decreto presidencial del 12 marzo de 1947 (SAG 1947), estableció una veda de explotación forestal a los bosques de la Ciudad de México, limitando el aprovechamiento de este recurso a las concesiones otorgadas a la papelera Loreto y Peña Pobre (PAOT 2005). Esta política pocas veces cumplió con los objetivos de protección de los bosques, en muchas ocasiones las extracciones forestales en las regiones vedadas se mantuvieron e incluso se incrementaron de manera clandestina, lo que hizo aún más difícil su control (Merino 2004).

En 1947, el presidente Miguel Alemán constituyó mediante decreto el 19 de mayo la Unidad Industrial de Explotación Forestal de Loreto y Peña Pobre. Se concesionaron así 135 000 ha de bosques por 60 años, dentro de las delegaciones Cuajimalpa, Milpa Alta, Contreras, Tlalpan y Álvaro Obregón, para que dicha empresa obtuviera su materia prima (PAOT 2005). Con estas medidas gubernamentales se entregaron vastos montes ejidales y comunales a esa papelera, con el pretexto de que las comunidades no podían mantener los bosques con el mismo estándar que ella. La época de las cooperativas se acabó, y para vivir de los bosques, los pueblos tuvieron que firmar contratos con la compañía (Vitz 2012). En 1985 cerraron la fábrica Loreto y Peña Pobre, debido a que dejó de ser redituable (Lomas 2009).

Situación actual de los recursos forestales

Actualmente se presenta una compleja problemática para los bosques de la Ciudad de México relacionada en parte con la veda forestal vigente desde 1947, que limita el derecho a realizar un aprovechamiento legal y planeado de los productos forestales. Esto contribuye a su deterioro creciente pues cualquier medida de manejo,

como la eliminación de plantas parásitas como el muérdago, es ilegal. Las restricciones y la falta de supervisión y monitoreo han conducido a la tala clandestina y al desinterés de los propietarios por no tener la posibilidad legal de aprovecharlos. Asimismo, se han potenciado una serie de disturbios masivos originados por el sobrepastoreo, el cambio de uso de suelo, los incendios, las plagas, las enfermedades forestales, y la extracción ilegal de tierra de monte (Sheinbaum 2008). Además, los bosques de la ciudad enfrentan una declinación forestal (reducción del vigor y sobrevivencia de los árboles) provocada por la lluvia ácida y los gases contaminantes a los cuales están continuamente expuestos (Flores 2010). Una descripción más detallada de esta problemática se puede consultar en el capítulo de "Políticas de conservación".

Actualmente, la silvicultura está severamente restringida y existen autorizaciones de aprovechamiento forestal únicamente dentro de las delegaciones La Magdalena Contreras y Tlalpan. Actualmente solo se aprovecha la madera de pino (*Pinus* spp.) y de oyamel (*Abies religiosa*), procedente de los bosques de esas dos delegaciones. Sin embargo, existen registros de años anteriores en los que se ha aprovechado encino (*Quercus* spp.) y otras coníferas como el cedro blanco (*Cupressus lindleyi*). El volumen total autorizado durante 2009 fue de 2 430 m³r (metros cúbicos en rollo) (figura 23) (SEMARNAT 2009*a*). Sin embargo, esta producción en sentido estricto no puede ser considerada como una producción forestal maderable, ya que es el resultado de permisos de saneamiento forestal, con acciones técnicas encaminadas a combatir y controlar las plagas y enfermedades que afectan al bosque, por ejemplo la poda de ramas infestadas por gusano descortezador (Sheinbaum 2008).

En la Ciudad de México la madera se utiliza principalmente para escuadría, lo que representó 53% de la producción forestal total de la entidad durante el 2009, mientras que los productos que se obtuvieron al procesar la celulosa, como el papel y el cartón, representaron 47% restante de la producción. Existen otros materiales que han resultado poco llamativos para la producción forestal formal, como la leña, el carbón, la chapa y el triplay, sin embargo es posible que algunos de ellos se

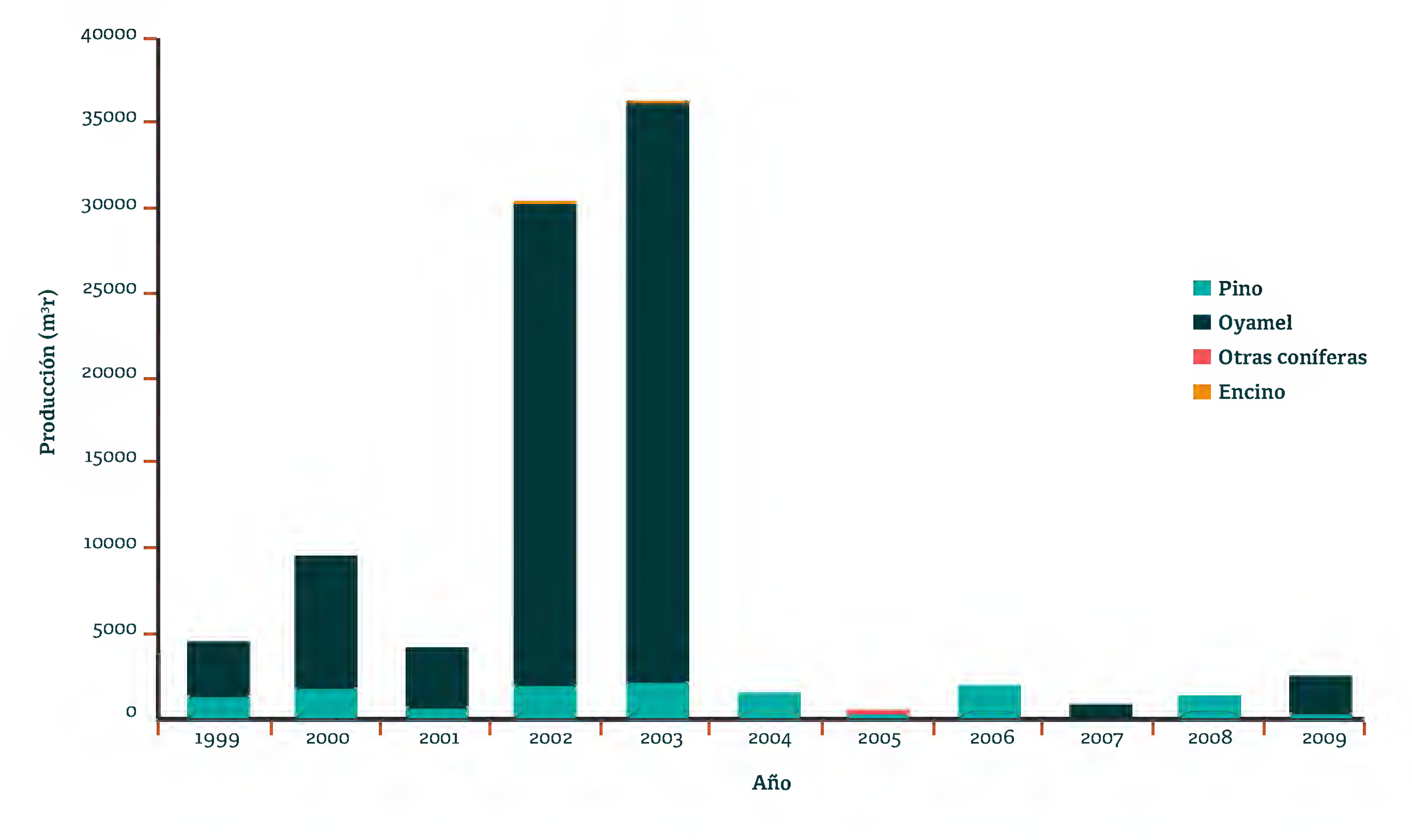


Figura 23. Producción maderable por género de árboles aprovechados de 1999 a 2009. Fuente: elaboración propia con datos de SEMARNAT 2009*a*.

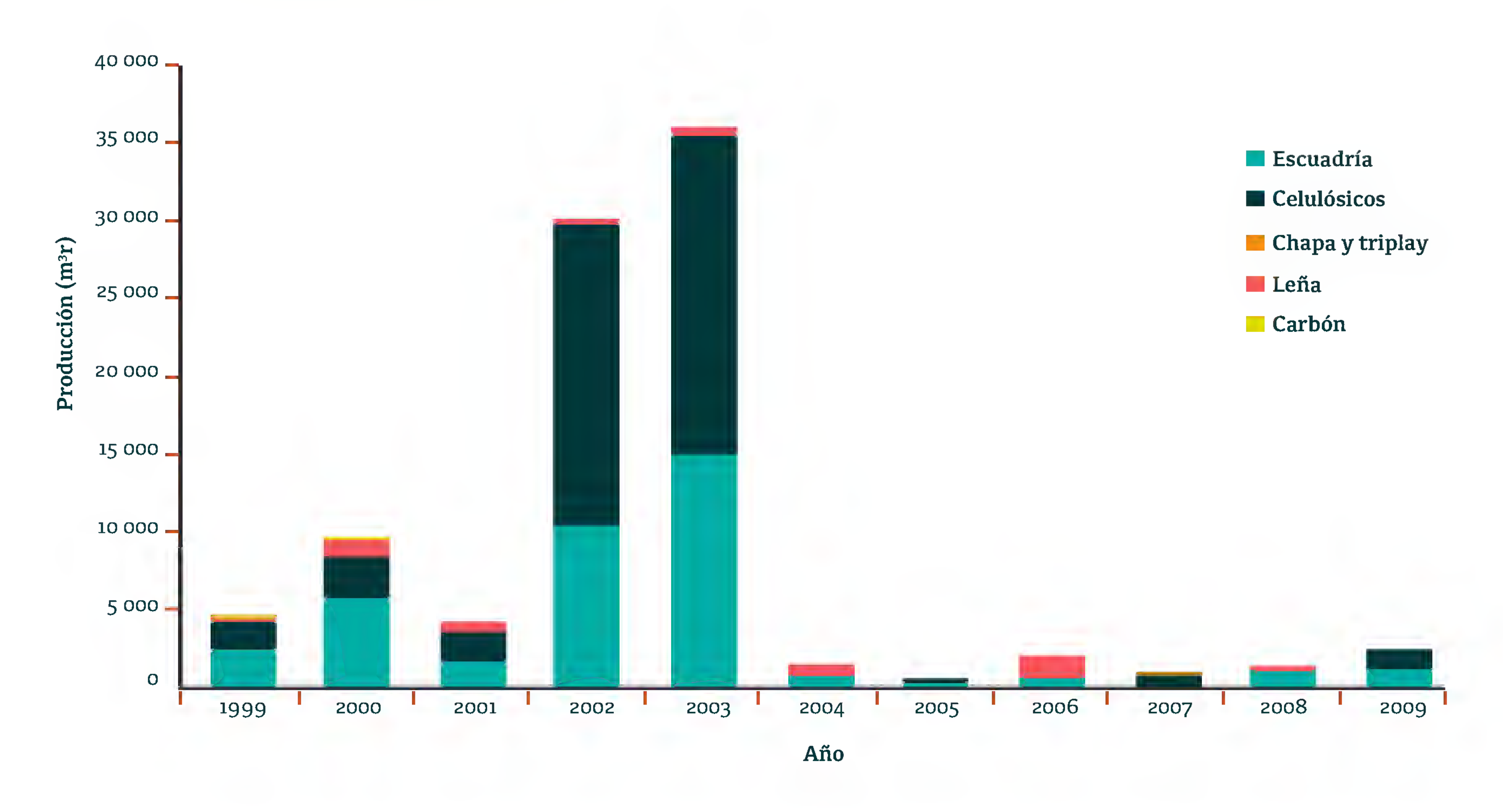


Figura 24. Uso de la madera por grupo de productos de 1999 a 2009. Fuente: elaboración propia con información de SEMARNAT (2009*a*).

aprovechen de manera sustentable (figura 24) (SEMARNAT 2009*a*).

En cuanto a los productos forestales no maderables, en el año 2009 se autorizó la extracción de tierra de monte y de hoja en la delegación Tlalpan, con volúmenes anuales de 163 y 919 ton, respectivamente (INEGI 2010). La extracción de tierra ha disminuido drásticamente en la ciudad durante los últimos años, probablemente por una mayor reglamentación por parte de las autoridades competentes. Durante el año 2005 la producción de tierra correspondió a 158 577 ton, lo cual representó 55.7% de la producción anual nacional (figura 25) (SEMARNAT 2005), y llegó a tener el volumen de aprovechamiento más alto en el país (Tapia-Tapia y Reyes-Chilpa 2008).

Muchas plantas son recolectadas para uso medicinal y al menos 178 especies son utilizadas de manera tradicional para el tratamiento de distintas enfermedades gastrointestinales, respiratorias, cutáneas y nerviosas. Ejemplo de ellas son el estafiate (*Artemisa ludoviciana* subsp. *mexicana*), utilizado para problemas del sistema digestivo, y la hierba mora (*Solanum nigrescens*), empleada para padecimientos de la piel. Asimismo, algunas están ligadas con prácticas mágico-religiosas como la jarilla verde (*Senecio salignus*) y la jarilla blanca (*S. cinerarioides*) (figura 26) (Valdivia-Martínez 2006),

Existe una gran variedad de hongos comestibles que son recolectados en los bosques del SC. Villarruel y Cifuentes (2007) reportan 27 especies comestibles para la delegación La Magdalena Contreras, de las cuales destacan los hongos denominados yema o tecomate (*Amanita caesaria*), la cemita o pambazo (*Boletus edulis*) (figura 27) y el amarillo o corneta (*Cantharellus cibarius*), cuyo uso intenso podría poner en riesgo su existencia. Otros productos no maderables que se recolectan en los bosques de la Ciudad de México se muestran en el cuadro 3.

Conclusión y recomendaciones

Los bosques templados de la Ciudad de México han permitido la provisión de cuantiosos recursos maderables y no maderables para los habitantes de la ciudad. Sin embargo, las actividades de aprovechamiento forestal que se dieron desde la época de la Colonia, hasta el cierre de la fábrica Loreto y Peña Pobre en 1985, mermaron considerablemente las poblaciones de árboles de importancia comercial. Esta situación trató

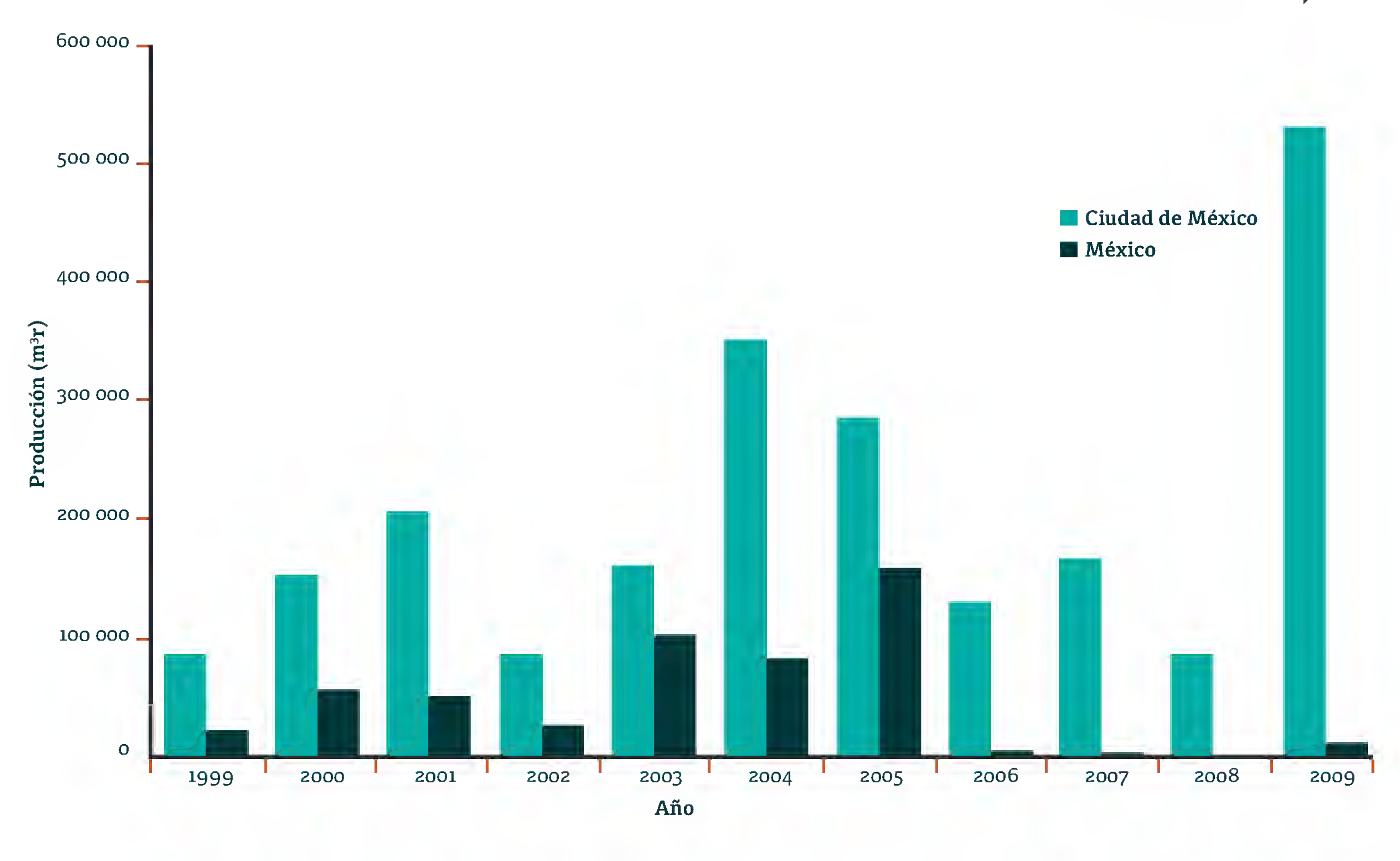


Figura 25. Comparación de la producción de tierra a nivel nacional y en la Ciudad de México de 1999 a 2009. Fuente: elaboración propia con información de SEMARNAT 2009*a*.

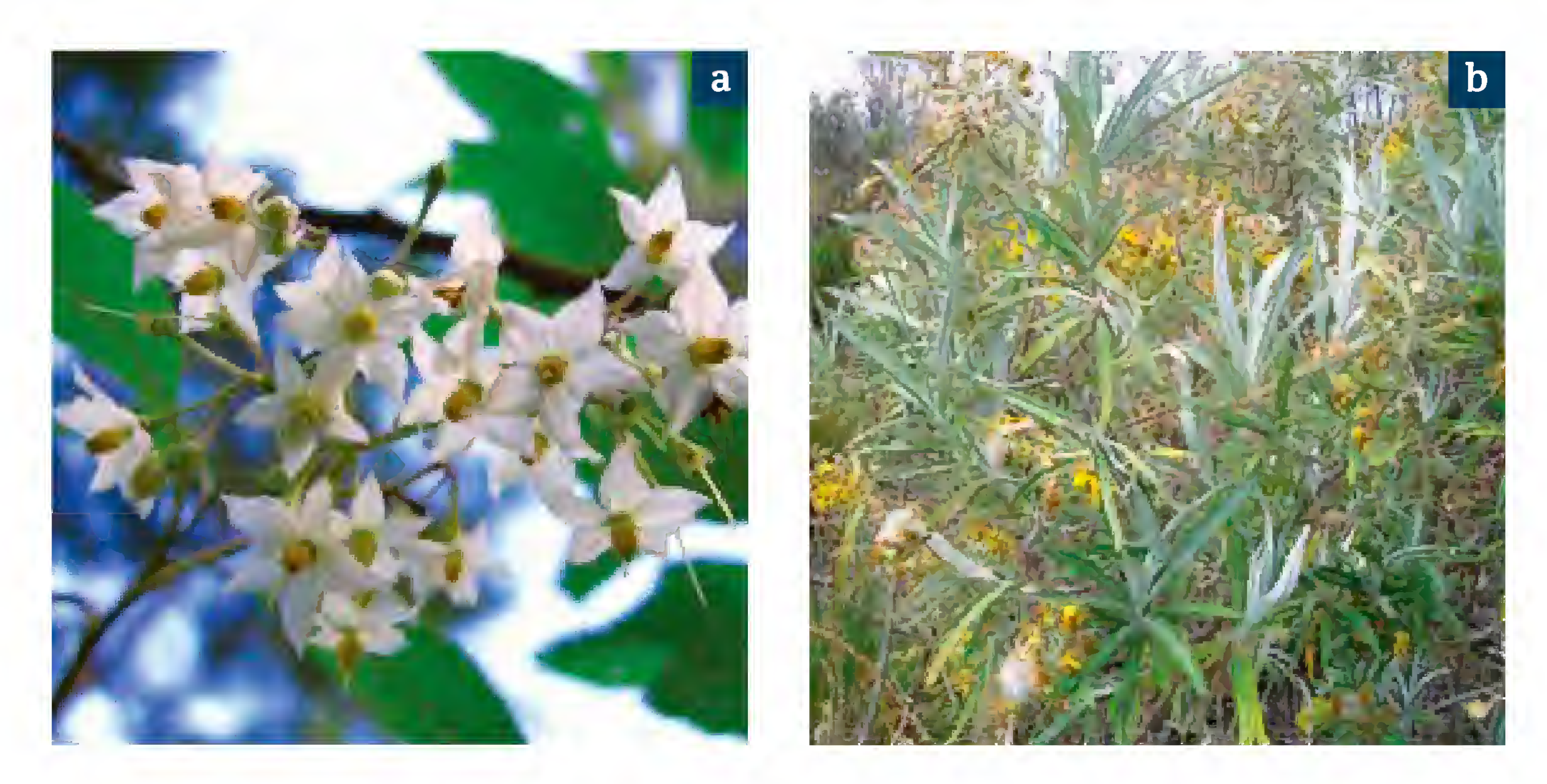


Figura 26. Plantas de uso medicinal y mágico-religioso en la entidad. *a*) Hierba mora (*Solanum nigrescens*) y *b*) jarilla blanca (*S. cinerarioides*). Fotos: Víctor Ávila (2009).

de corregirse con la veda forestal de 1947, sin embargo los intereses económicos, la falta de un manejo forestal, y la inadecuada supervisión y vigilancia, provocaron otras consecuencias negativas secundarias, como la tala clandestina, el pastoreo, el cambio de uso de suelo, los incendios forestales y el saqueo de tierra.

Es urgente reconsiderar la política de veda implementada actualmente, debido a que los bosques muestran señales alarmantes de deterioro que no han podido controlarse con las medidas realizadas hasta el momento. Se cuenta con un recurso forestal que puede ser potencialmente aprovechado mediante un manejo adecuado, que incorpore la participación activa de los pobladores, esto traería beneficios al bosque, a los dueños del bosque y a los habitantes de la Ciudad de México.

Mejorar las condiciones de los bosques

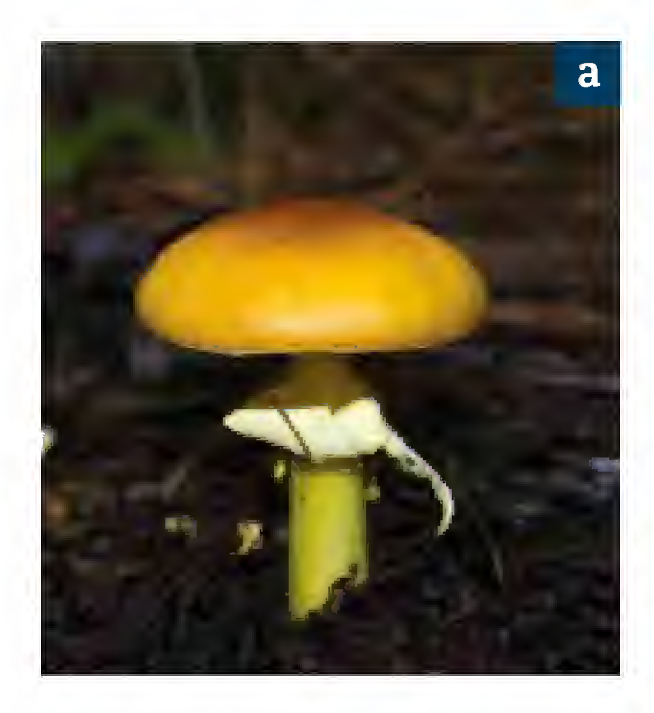




Figura 27. Hongos comestibles con explotación intensa en los bosques de la entidad. *a*) Tecomate (*Amanita caesaria*) y *b*) pambazo (*Boletus edulis*). Fotos: Carlos Eduardo Obregón, Joaquín Cifuentes Blanco/ Banco de imágenes de CONABIO.

Cuadro 3. Productos forestales no maderables utilizados de manera tradicional, reportados para la entidad. NE: no especificado.

Especie	Nombre común	Usos	Manejo
Croton spp.	Vara blanca	Hortícola	Se cortan varas para usarlas de tutor en los cultivos
Symphoricarpos microphyllus	Vara perlilla	Doméstico (escobas) y artesanal (figuras navideñas)	Se cortan varas, se deshojan y se hacen manojos
Tillandsia usneoides	Heno	Ceremonial y religioso e industrial	Se recolecta en noviembre y diciembre
NE	Bromelias	Religioso, ornamental, textil, artesanal, medicinal, doméstico, comestible, forrajero e industrial	Variable según uso, para actividades religiosas se recolecta en temporada navideña
NE	Orquídeas	Ornamental e industrial	Se recolectan en los meses en que producen flores
Crataegus mexicana	Tejocote	Comestible, ornamental, apícola, industrial, artesanal, forrajero y combustible	Los frutos se recolectan manualmente, entre los meses de noviembre y diciembre
Muhlenbergia macroura	Zacatón	Construcción, artesanal, forrajero, industrial	La colecta se lleva a cabo de enero a junio. Se aprovecha la raíz
Arctostaphylos pungens	Pingüica	Fruto comestible y medicinal, combustible, ornamental, agrícola	Recolecta de los frutos y las ramas frescas

Fuente: SEMARNAT 2009*b*.

traería beneficios para la generación de otros SE como el hábitat, la regulación de la erosión, la regulación de los flujos de agua, la provisión de agua de óptima calidad y la regulación del clima.

Recursos genéticos

De acuerdo con el Convenio sobre la Diversidad Biológica, los recursos genéticos son el material de origen vegetal, animal, microbiano o de otro tipo, que contiene unidades funcionales de la herencia (genes) con un valor real o potencial (PNUMA 1993), es decir, la expresión tangible de la diversidad genética, resultado de la variación en los genes.

Los genes son considerados los reservorios de información hereditaria propia de cada organismo, y determinan sus características, por ejemplo, su forma, sus funciones e incluso ciertas conductas (Watson 2006). Constituyen un acervo biológico que sostiene el potencial

evolutivo de las especies, posibilitando con ello su adaptación a los cambios del medio, característica que ha sido aprovechada por los humanos desde su etapa de recolector de alimentos, para realizar el proceso de domesticación de especies. De esta manera, los recursos genéticos proporcionan la información contenida en los genes que permiten la generación de nuevas variedades vegetales o animales, o la asignación de rasgos genéticos tales como la fertilidad, la resistencia a plagas y enfermedades, así como la adaptabilidad a nuevas condiciones ambientales (Pérez-Salom 1997, Neyra y Durand 1998).

Además, los recursos genéticos son una fuente insustituible de compuestos químicos, muchos de los cuales apenas se empiezan a descubrir. Son empleados en la industria alimenticia, farmacéutica y biotecnológica, entre otras. Constituyen un patrimonio vasto y profundo, del que se obtienen alimentos, fibras, medicamentos y todo un conjunto de componentes útiles para el desarrollo y bienestar de la humanidad (Pérez-Salom 1997, MA 2003).

El SC es un reservorio de recursos genéticos que mantiene una significativa diversidad de especies. Se estima que 2% de la diversidad global del planeta está representada en la cuenca de México (alrededor de 3 000 especies de plantas y 350 especies de animales terrestres, incluyendo anfibios, reptiles, aves y mamíferos) (Velázquez y Romero 1999). La biota que se distribuye en el territorio de la Ciudad de México contribuye de manera importante a dicha riqueza, debido a que alberga 1 606 especies de plantas distribuidas en tres divisiones y 145 familias taxonómicas (cuadro 4) y 348 especies de vertebrados pertenecientes a cuatro clases taxonómicas y 84 familias taxonómicas (cuadro 5) (UAEM y SMA 2010).

Aunado a lo anterior, 23 especies de plantas y 64 de fauna se encuentran en alguna categoría de riesgo, lo cual indica que sus poblaciones podrían desaparecer en algún momento si no se protegen adecuadamente, disminuyendo así los recursos genéticos disponibles en la zona. La mayor parte de las especies en riesgo

Cuadro 4. Número de familias por división taxonómica, presentes en la flora de la Ciudad de México.

División taxonómica	Descripción	Número de familias
Pteridophyta	Plantas ancestrales como las selaginellas, los helechos y la cola de caballo.	16
Coniferophyta	Plantas que producen conos como los pinos, el oyamel y los cedros.	3
Magnoliophyta	Plantas que producen flores, como las orquídeas, los pastos y la mayoría de los árboles a excepción de las coníferas.	126

Fuente: elaboración propia con datos de UAEM y SMA 2010.

Cuadro 5. Número de familias por clase taxonómica presentes en la fauna de la ciudad.

Clase taxonómica	Descripción	Número de familias
Anfibios	Ajolotes, salamandras, sapos, ranas, etc.	7
Reptiles	Serpientes, lagartijas, tortugas, etc.	9
Aves	Patos, codornices, garzas, gavilanes, halcones, tortolitas, colibríes, carpinteros, etc.	51
Mamíferos	Conejos, ratones, tuzas, ardillas, zorrillos, murciélagos, felinos, etc.	17

Fuente: elaboración propia con datos de UAEM y SMA 2010.

están clasificadas como "sujetas a protección especial", que son aquellas que pueden llegar a estar amenazadas, pero por el momento se encuentran en menor riesgo que éstas últimas (figura 28). La extinción de especies causada por el deterioro ambiental ha afectado a la diversidad genética presente en las poblaciones y los ecosistemas de la ciudad.

La distribución de los recursos genéticos no es homogénea en el SC. Para el caso de la fauna, existen zonas con alto potencial para albergar un gran número de especies de anfibios, reptiles, aves y mamíferos que presentan condiciones óptimas de clima, vegetación, suelo y altitud (figuras 29 - 32) (GDF 2012).

Los sitios más sobresalientes como reservorio de esta provisión de variabilidad genética de especies se encuentran en la región de Bosques y Cañadas: sierra de las Cruces y Parque Nacional Desierto de los Leones en Cuajimalpa de Morelos; los Dinamos y el cerro San Miguel en La Magdalena Contreras; los volcanes Quepil, Pelado, Chichinautzin, Oyameyo, Caldera, Malacatepec y Acopiaxco en Tlalpan; y los volcanes San Bartolito, La Comalera, Cilcuayo, Cuautzin y Tláloc en Milpa Alta (figura 33) (GDF 2012). Otras regiones que contribuyen a la generación del SE de provisión de recursos genéticos son: la Sierra de Guadalupe, las Serranías de Xochimilco y Milpa Alta y los Humedales de Xochimilco y Tláhuac.

De las especies domesticadas para fines agrícolas destacan las razas de maíz del altiplano. Los productores de la ciudad han mantenido la diversidad de razas del maíz como parte de su identidad y patrimonio cultural y biológico (Moran y Soriano-Robles 2010). Estos han sido cuidadosos con el origen de sus semillas, conservándolas por generaciones en las familias de productores (Lazos y Chauvet 2011).

Hasta ahora se tienen registradas las razas

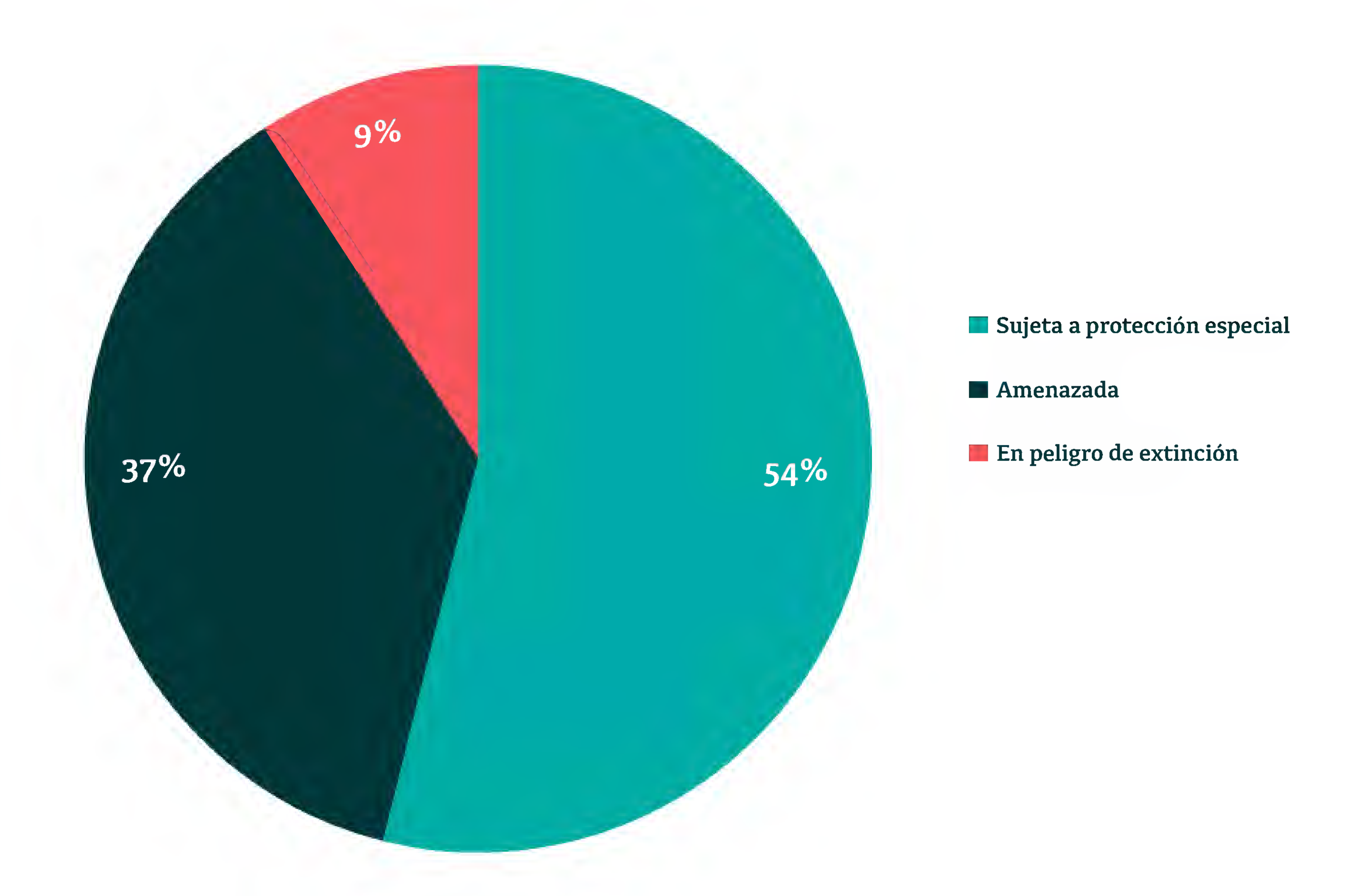


Figura 28. Porcentaje de especies de la Ciudad de México por categoría de riesgo de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010. Fuente: modificado de UAEM y SMA 2010.

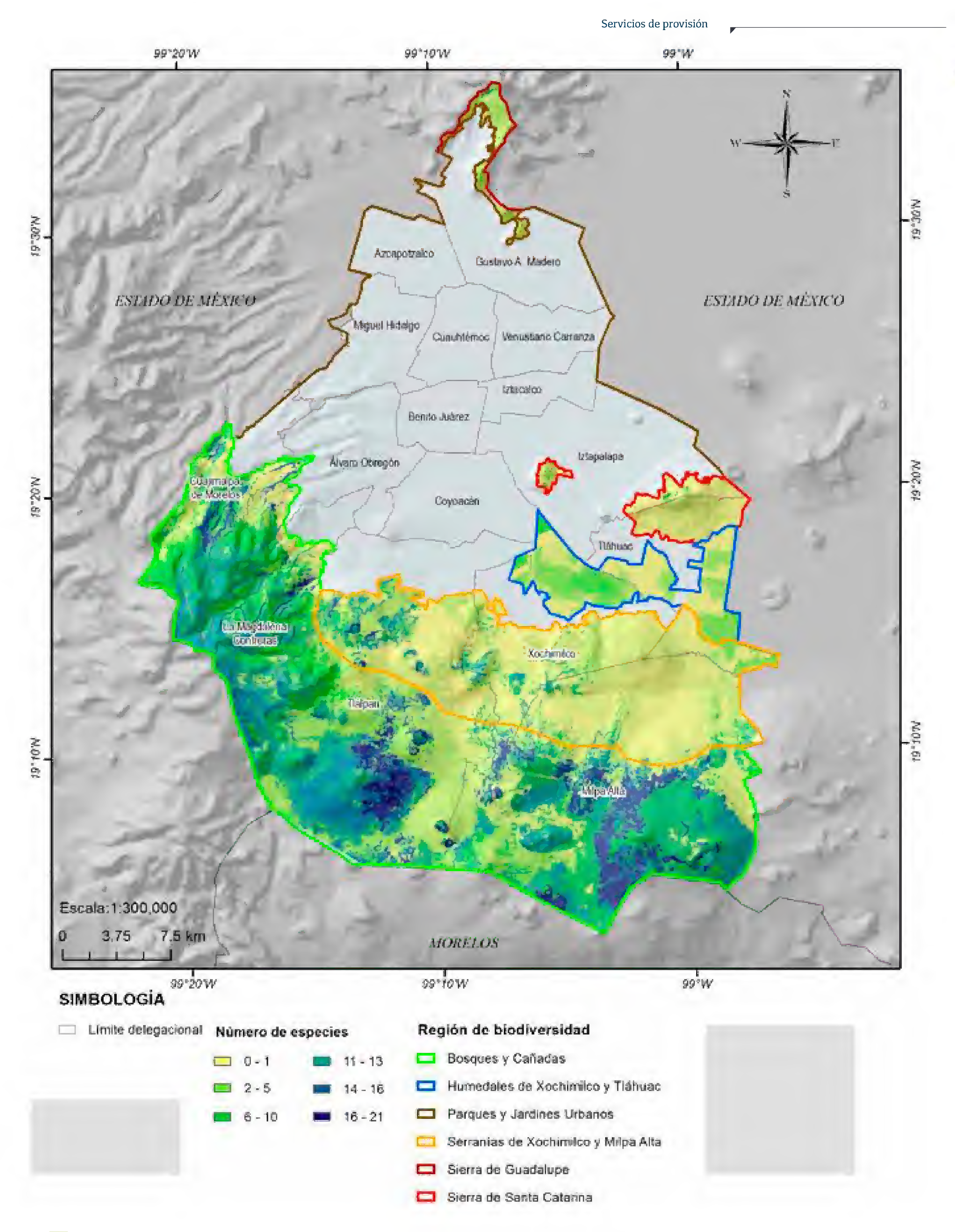


Figura 29. Distribución de la riqueza potencial de anfibios. Fuente: elaboración propia con información de GDF 2012.

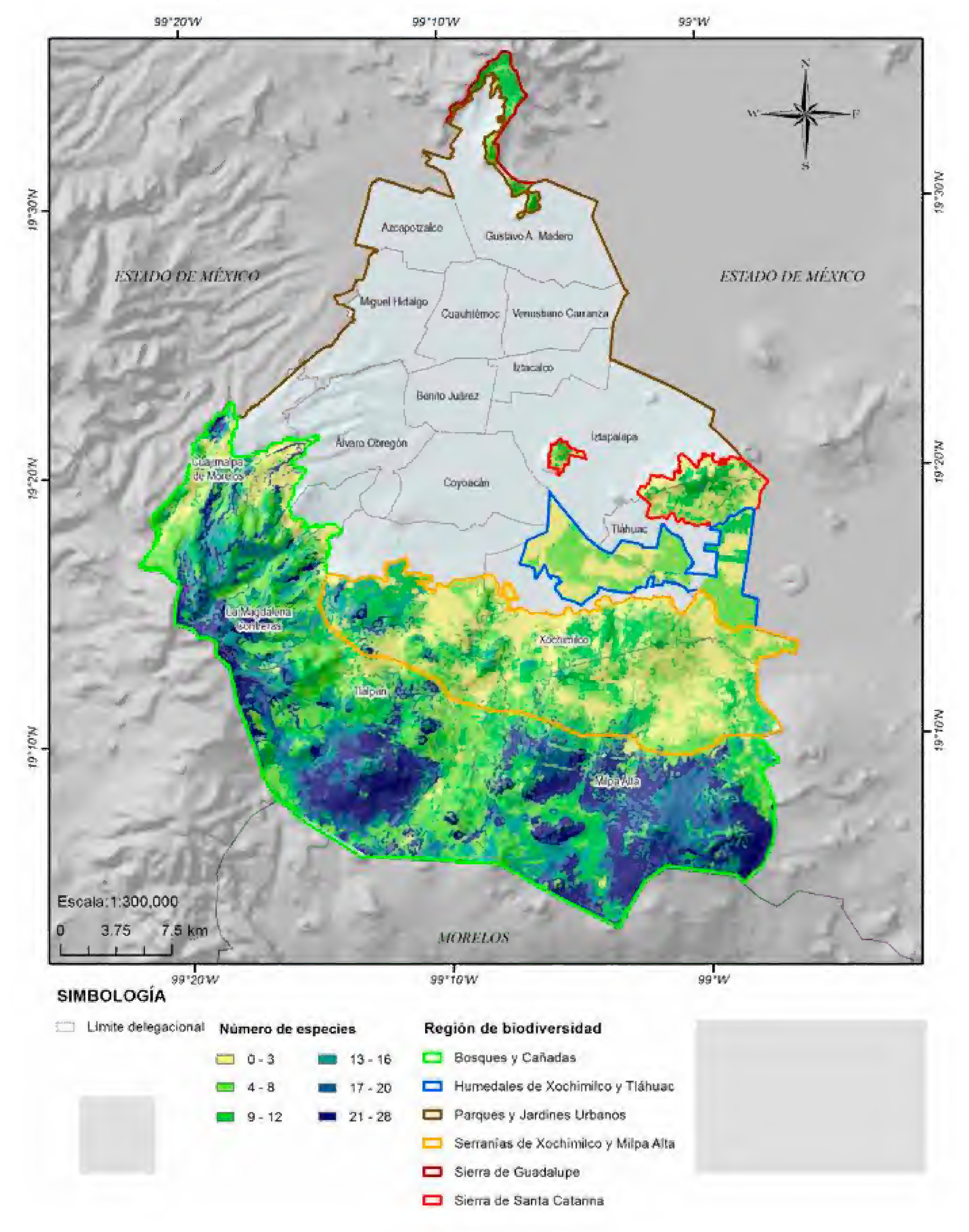


Figura 30. Distribución de la riqueza potencial de reptiles. Fuente: elaboración propia con información de GDF 2012.

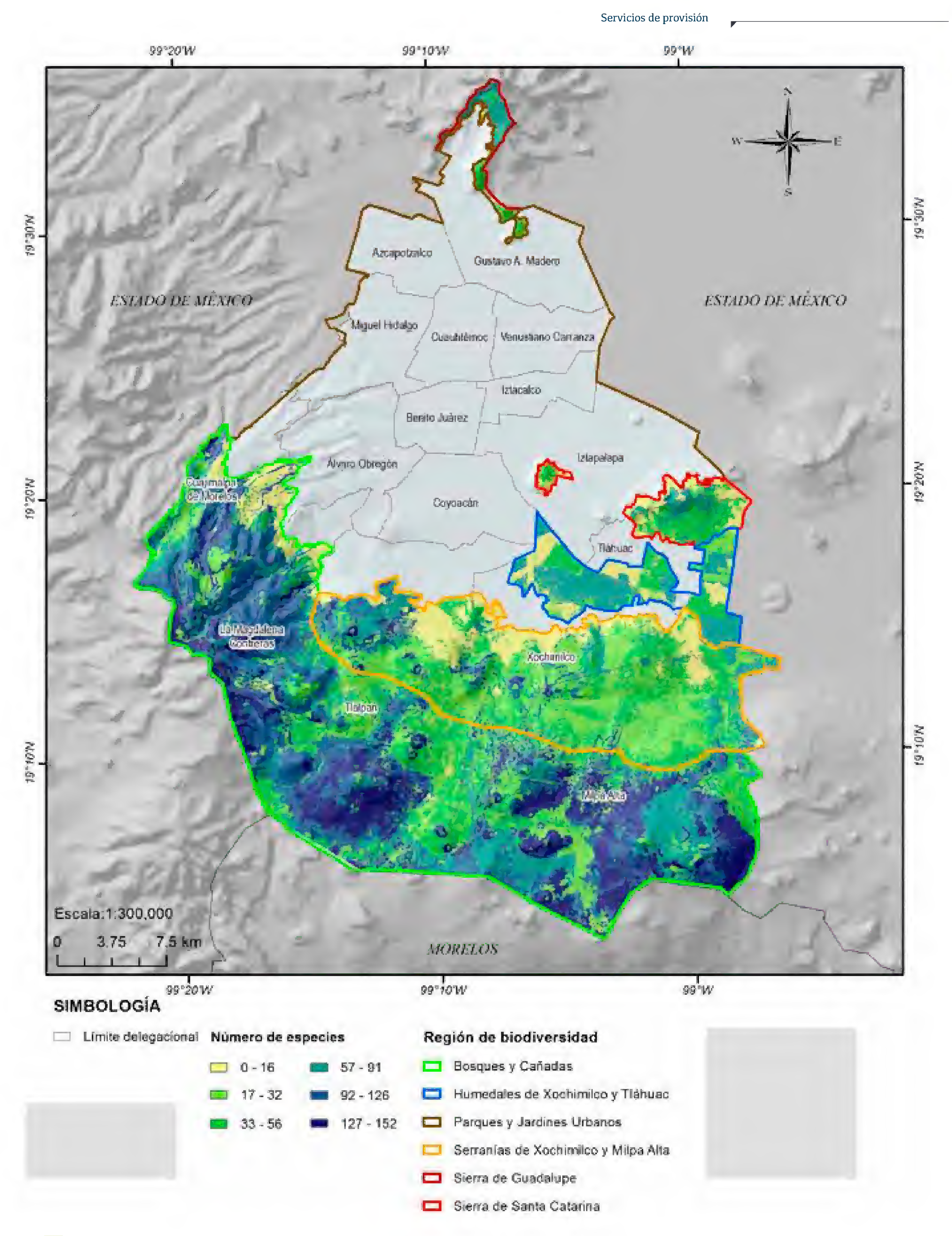


Figura 31. Distribución de la riqueza potencial de aves. Fuente: elaboración propia con información de GDF 2012.

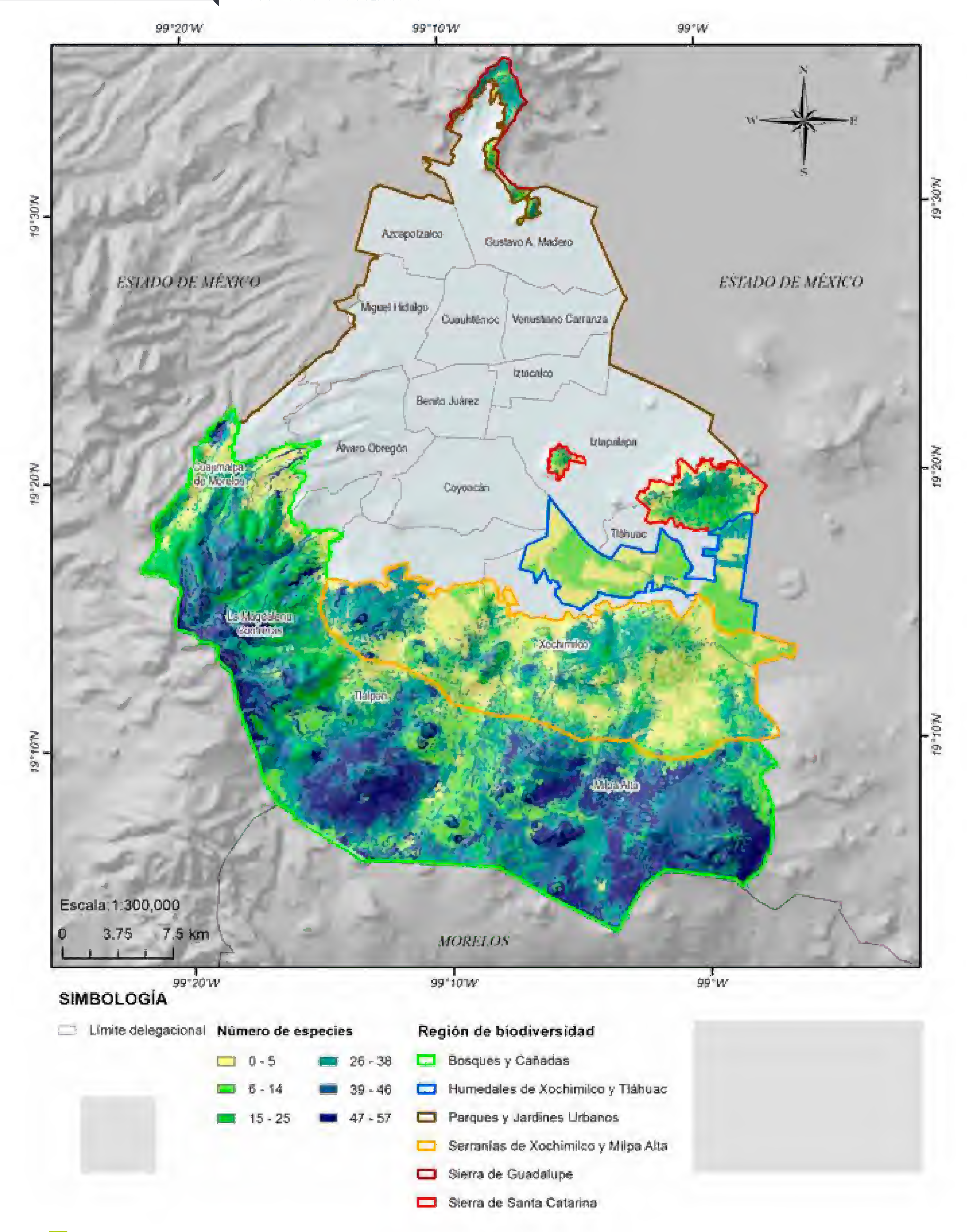


Figura 32. Distribución de la riqueza potencial de mamíferos. Fuente: elaboración propia con información de GDF 2012.









Figura 33. Sitios sobresalientes por presentar condiciones adecuadas para albergar una alta diversidad de fauna. *a*) Cerro San Miguel, *b*) Desierto de los Leones, *c*) Volcán Pelado, *d*) Volcán Tláloc. Fotos: Inti Burgos 2010.

chalqueño, cónico, cacahuacintle, cacahuacintle-palomo, ancho, palomero, arrocillo y algunas variantes de pepitilla, junto con mezclas raciales y/o complejas, que constituyen, hasta el momento, más de 100 variedades. Además se tiene la presencia del teocintle (*Zea diploperennis*), considerado un ancestro del maíz, que representa un recurso genético básico por su resistencia a plagas y enfermedades (Serratos-Hernández *et al*. 2007). En el cuadro 6 se presentan algunas de las características de las cinco razas de mayor distribución dentro de la entidad.

Entre las variedades de maíz más importantes se encuentran el cacahuacintle, de granos suaves y harinosos y chalqueño-cónico, ideal para la elaboración de tortillas por sus granos más duros (figura 34). También se presentan diferentes colores, como los chalqueños-cónicos blancos en algunas zonas de Tlalpan y La Magdalena Contreras, chalqueño azul, rojo y blanco en zonas de Tláhuac y Xochimilco. Los granos blancos son preferidos para la elaboración de tortilla, aunque también se usan los azules con los que además se elabora pinole. Los maíces rojos representan a la fertilidad, y tienen un uso ritual y mágico. Estas poblaciones de maíz nativo y teocintle son un recurso genético que no ha sido estudiado, evaluado ni protegido adecuadamente (Serratos-Hernández 2010, Serratos-Hernández *et al*. 2011). Este tema se aborda con mayor extensión en la sección de biodiversidad genética en la presente obra.

Otra especie de gran importancia para el acervo de recursos genéticos de la entidad es el amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*), que fue domesticado con fines agrícolas en la parte central de México. Se le considera una fuente importante de germoplasma nativo (conjunto de genes que se transmite mediante la reproducción a la descendencia por medio de células

Cuadro 6. Razas de maíz con mayor distribución en la Ciudad de México y caracteres genéticos que se aprovechan.

Razas	Caracteres genéticos
Ancho	Elote suave y dulce que es muy apreciado. Uso especial para pozole por su tamaño de grano muy grande, porque absorbe bien la humedad y revienta.
Cacahuacintle	Raza de granos harinosos grandes, muy suaves y cascarilla delgada. Se usa para pozole, elotes, pinole, atole y harina. Predominan formas de grano blanco pero también se encuentran negras o azules. Por sus hojas caídas tolera las granizadas. Con adaptación especial a suelos de origen volcánico, y a las partes más altas y de temperaturas más bajas de México.
Chalqueño	Poblaciones específicas para sus ambientes y usos: variantes tipo "crema" especiales para tortillas; "palomo" y otros tipos de grano blanco y textura harinosa para harina de tamal; "azules" para antojitos de ese color; "rojos" para antojitos, burritos (maíz tostados y garapiñado con piloncillo) y pinole, "amarillos" para forraje y tortilla; todas estas variantes presentan plantas de gran tamaño, aunque esta característica propicia la caída ante los vientos fuertes. Presentan hojas caídas que soportan las granizadas. Es una de las razas más productivas. Domina en las partes de los Valles Centrales de México donde no hay maíces mejorados adecuados para estas regiones. Resistencia a la sequía en etapas medias del desarrollo de la planta.
Cónico	La textura de la planta al secarse es más suave y con mejor palatabilidad que los materiales mejorados, por lo que es apreciada como pastura para el ganado; la mazorca es más pequeña que la del chalqueño. Tolera baja precipitación y temporal errático. Soporta el frío por lo que se distribuye a mayores altitudes en las faldas de los volcanes del centro de México. Ha sido de interés para agrandar las fronteras altitudinales de la siembra de maíz.
Elotes Cónicos	Azules, rojos y negros, usos especiales para elotes y harinas. Potencial para producción de pigmentos (para todos los azules y rojos). En algunas zonas del país se está generalizando el uso de los maíces rojos para la elaboración de pinole, asimismo, el uso de maíces azules es cada vez más común en restaurantes que ofrecen tortillas azules como signo de calidad o novedad.

Fuente: elaboración propia con datos de Lazos y Chauvet 2011.

reproductoras), y ha resultado de un largo proceso evolutivo (Moran y Soriano-Robles 2010).

La riqueza genética del cultivo de amaranto se encuentra escasamente estudiada y representada en los bancos de germoplasma (sitios donde se resguarda la variabilidad genética de las especies). Dentro de las zonas de cultivo de la ciudad existe amplia variación en cuanto a la arquitectura de las plantas (densidad de ramificación, color y forma de la inflorescencia o panoja y altura de la planta), incluso en plantas de la misma parcela productiva. Las variantes de amaranto, tal como las nombran los productores son: rojita o morada, café o aladrillada y blanca o verde. Con el amaranto se prepara la tradicional golosina conocida como "alegría", utilizando la semilla reventada y miel de abeja; el pueblo de Santiago Tulyehualco, en Xochimilco, destaca por realizar esta actividad. También se prepara atole, pinole, tamales, harina como base para la elaboración de tortilla, pan, galletas, pastas y mazapanes, entre otros (Moran y Soriano-Robles 2010).

Los recursos genéticos tienen un gran potencial de aplicación en el ámbito de la medicina y la farmacéutica. Una especie de la zona que puede ejemplificar este potencial es el ajolote (*Ambystoma mexicanum*). Esta especie se encuentra en peligro de extinción en la NOM-059 (SEMARNAT 2010) y es endémica de la cuenca de México, lo cual significa que solo vive en esta zona. Se ha utilizado desde hace siglos en la medicina tradicional mexicana para tratar distintos padecimientos del sistema respiratorio, aunque su efecto no se ha validado con estudios médico farmacológicos (Griffiths *et al.* 2004). Otro aspecto distintivo de esta especie es su capacidad para permanecer en estado de neotenia, es decir, los individuos adultos siguen presentando las características de un estadío juvenil hasta el momento de su muerte como si nunca envejecieran. Esta particularidad en su desarrollo y la capacidad de regenerar los miembros de su cuerpo cuando son amputados, hacen que tenga un gran potencial de investigación y



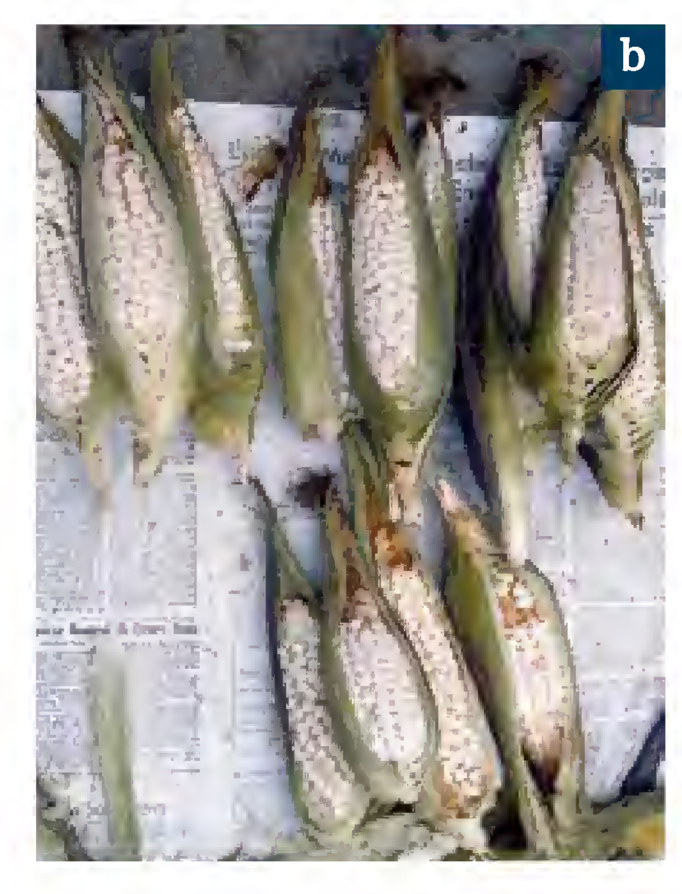


Figura 34. Principales razas nativas de maíz registradas en la entidad. *a)* Maíz chalqueño y *b)* cacahuancintle. Fotos: José Alfredo Carrera Valtierra y Efraím Hernández Xolocotzi/ Banco de imágenes de CONABIO.

aplicación en el campo de la medicina genómica, ya que en un futuro se podría aplicar en tratamientos de regeneración celular en humanos (Lee y Gardiner 2012).

Como queda ejemplificado en el caso anterior, la relevancia de los esfuerzos encaminados a la conservación de los recursos genéticos, gira en torno al enorme potencial que tienen en la generación de avances en la medicina, la industria farmacéutica, y la producción de alimentos. Sin embargo también existen otras ventajas poco tangibles, como la capacidad de adaptación de las especies a los cambios en el ambiente, la posibilidad del control de los procesos ecológicos y el mantenimiento de la diversidad en los ecosistemas. Los recursos genéticos tienen un gran potencial en una gama ilimitada de usos. Es una gran incógnita cuántas oportunidades estarán siendo desaprovechadas por cada hectárea de bosque destruido, por cada especie que se extingue y por cada genoma que está desapareciendo antes de haber tenido la oportunidad de ser estudiado.

Los principales riesgos a los que se enfrentan los recursos genéticos de la ciudad están relacionados con el cambio de uso de suelo. La urbanización, la deforestación y la transformación drástica del paisaje lacustre de la Cuenca de México, seguramente han provocado una disminución de este SE, por la desaparición de muchas especies silvestres (Sheinbaum 2008). Especies domesticadas nativas (como el maíz y el amaranto), están siendo amenazadas por: la reducción de las áreas de cultivo, la disminución en el número de personas que mantienen la actividad agrícola y el germoplasma bajo resguardo, el deterioro de los agroecosistemas,el crecimiento de la mancha urbana y los asentamientos irregulares (Serratos-Hernández 2010, Serratos-Hernández *et al.* 2011).

Adicionalmente, existe el riesgo de que poblaciones de maíz nativo se vean afectadas por la introducción de maíz transgénico (variedades de maíz donde su material genético se modifica artificialmente, para obtener características especiales), el cual ha sido detectado en parcelas de La Magdalena Contreras y Milpa Alta (Serratos- Hernández *et al.* 2007).

Conclusión y recomendaciones

La Ciudad de México presenta un importante acervo de recursos genéticos, formando parte de sus ecosistemas agroforestales, los cuales han permitido generar bienestar en sus habitantes. La selección de caracteres genéticos específicos, a través del proceso de domesticación de diversas especies, ha generado distintas variedades adaptadas a las condiciones de la zona y con características apropiadas para usos distintos como en los casos del maíz (*Zea mays*) y el amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) presentados en esta sección. Además, existen especies en riesgo de desaparecer, que guardan en su material genético distintas propiedades que pueden ser aprovechadas sustentablemente para el desarrollo científico de productos y aplicaciones tecnológicas, en campos como la medicina, industria y la alimentación, tal es el caso del ajolote (*Ambystoma mexicanum*). El reto estará en la distribución de los beneficios derivados de la generación de conocimiento, producción de patentes y aplicación, ya que las comunidades que resguardan esta diversidad genética se encuentran lejos de recibir beneficio alguno.

La generación del SE de provisión de recursos genéticos depende en gran medida de otros servicios como el hábitat, que es un servicio de soporte, y la polinización, que es un servicio de regulación. Asimismo, influye en otros servicios de regulación como control de enfermedades y control biológico de plagas, y en el servicio de diversidad cultural en la utilización de la gran variedad de especies con fines medicinales y comestibles que de hecho son también otro tipo de SE de provisión.

Es muy importante implementar estrategias que eviten que este SE deje de generarse, debido a que la urbanización, la pérdida del hábitat de las especies, la pérdida del conocimiento tradicional agrícola y la introducción de especies transgénicas, pueden poner en riesgo a las especies y variedades que conforman los recursos genéticos, así como el reparto justo de los beneficios derivados de su aprovechamiento.

Consideraciones finales de los SE de provisión

Los SE de provisión tienen la característica de ser bienes tangibles y en general, medibles, lo cual facilita su estudio. Existe una gran cantidad de publicaciones y bases de datos con información oficial que contribuyeron a describir estos SE. El SE de provisión con mayor cantidad de información disponible fue "alimentos", mientras que la provisión de "maderables y no maderables", a pesar de ser un SE de vital importancia, cuenta con muy poca información disponible a nivel de entidad federativa. Resulta indispensable generar y poner a disposición de los tomadores de decisiones esta información vinculada estrechamente con otros SE.

En la figura 35 se muestran las zonas que contribuyen a la generación de los SE de provisión. Para este caso prácticamente toda la entidad es importante, sin embargo la región Bosques y Cañadas tiene un papel sobresaliente por el estado de conservación de sus ecosistemas, de los cuales es posible obtener alimentos, maderables y no maderables además alberga gran cantidad de recursos genéticos y permite los procesos hidrológicos indispensables para que el agua esté disponible. En contraste la región Parques y Jardines aporta en menor cantidad a los SE de provisión, toda vez que la transformación de los ecosistemas altera su funcionamiento y disminuye la biodiversidad, elementos que son importantes para la generación de este tipo de SE.

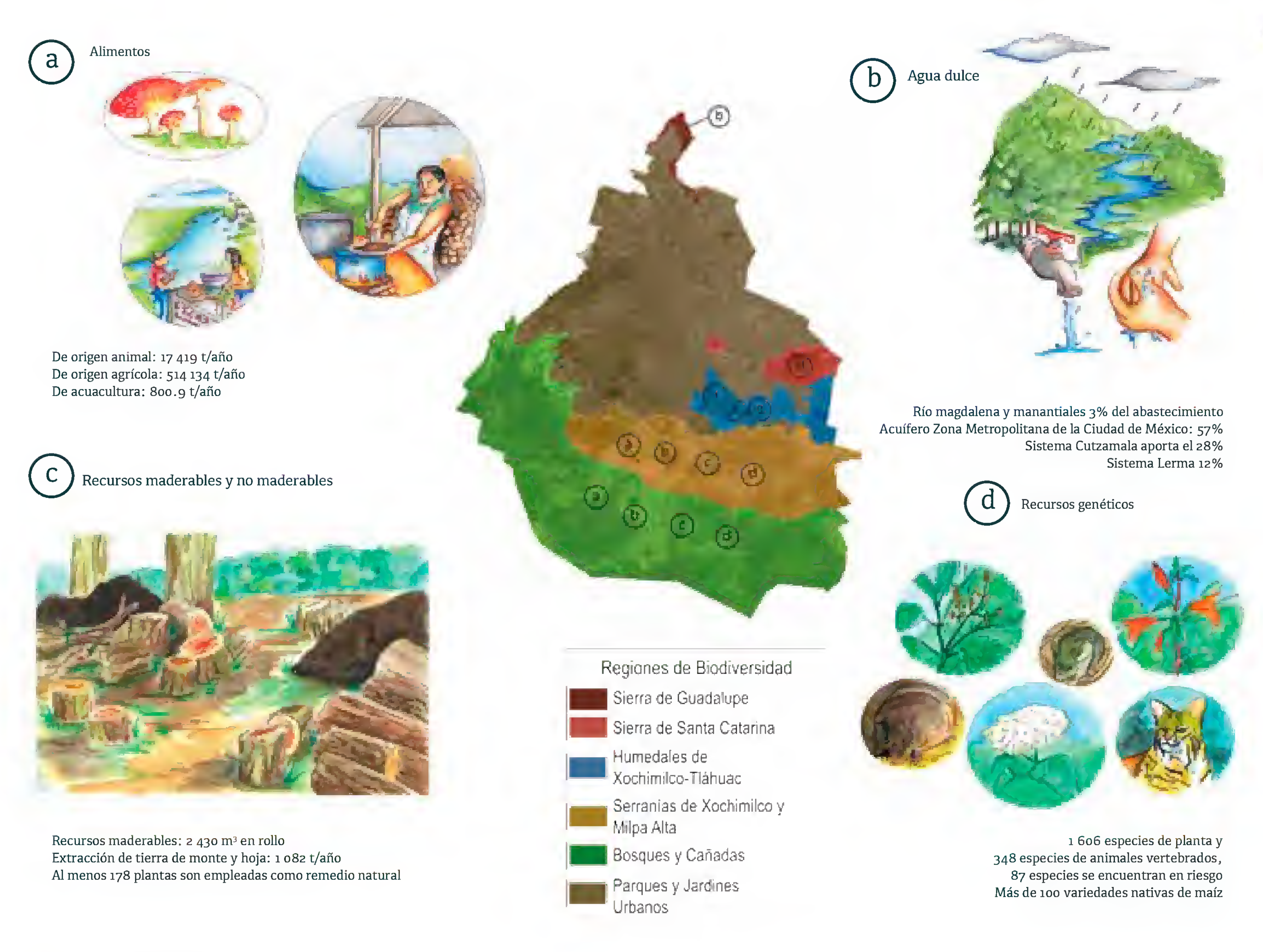


Figura 35. Servicios ecosistémicos de provisión dentro de la Ciudad de México. Fuente: elaboración propia con ilustraciones de Miguel Posadas 2011.

Referencias

Agro. 2001. Ganan terreno supermercados en abasto hortofrutícola. En: <*http://www.2000agro.com.mx/agroindustria/ganan-terreno-supermercados-en-abasto-hortofruticola/*>, última consulta: 12 de abril de 2016.

Aguilar, M.A.G., J. López-Blanco, M. de L. Rodríguez-Gamiño y P. Montes-Cruz. 2006. *Urbanización periférica y deterioro ambiental en la ciudad de México: el caso de la delegación Tlalpan en el Distrito Federal*. SEMARNAT/INE, México.

Alcántara, J.L., L.A. González-Olvera, B.E. Hernández-Baños y E. Díaz-Islas. 2001. El AICA Lago de Texcoco y su avifauna. En: <*http://www.whsrn.org/es/perfil-de-sitio/lago-texcoco*>, última consulta: 18 de abril de 2016.

Almaguer-Vargas, G., A.V. Ayala-Garay, R. Schwentesius y D.M. Sangerman. 2012. Rentabilidad de hortalizas en el Distrito Federal, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(4):643-654.

Almeida-Leñero, L., M. de J. Ordoñez, J. Jujnovsky, M. Nava y A. Ramos. 2007. Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. *Gaceta Ecológica* 84:53–64.

AMSDA. Asociación Mexicana de Secretarios de Desarrollo Agropecuario A.C. 2013. Plan rector estatal del Sistema Producto Hortalizas del Distrito Federal. En: <*http://amsda.com.mx*>, última consulta: 10 de marzo de 2013.

Armillas, P. 1971. Gardens on swamps. *Science* 174:653-661.

Ayala-Garay, A.V., R. Schwentesius-Rindermann, y Ch. B. Carrera. 2012a. Hortalizas en México: competitividad frente a EE.UU. y oportunidades de desarrollo. *Georgetown University- Universia. Rev. Globalización Competitividad y Gobernabilidad*. 6:70-88.

Ayala-Garay, A.V., B. Carrera Chávez, R. Schwentesius Rindermann, *et al*. 2012*b*. *Competitividad del sector agropecuario en México: implicaciones y retos*. Plaza y Valdés, México.

Balvanera, P. y H. Cotler. 2009. Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos. Pp. 185-245. En: *Capital natural de México, vol II. Estado de Conservación y tendencias de cambio.* R. Dirzo, R. González, e I. March (comps.) CONABIO, México.

Bazant, S.J. 2001. *Periferias urbanas. Expansión urbana controlada de bajos ingresos y su impacto en el medio ambiente.* Editorial Trillas. México

Bonfil, C., I. Pisanty, A. Mendoza y J. Soberón. 1997. Investigación y restauración ecológica: el caso del Ajusco medio. *Ciencia y Desarrollo* 135:14-23.

Carabias, J., J. de la Maza y E. Provencio. 2008. Evolución de enfoques y tendencias en torno a la conservación y el uso de la biodiversidad. Pp. 29-42. En: *Capital Natural de México, vol III: políticas públicas y perspectivas de sustentabilidad*. J. Sarukhán *et. al* (eds.). CONABIO, México.

Coe, M. 1964. The chinampas of Mexico. *Scientific American* 211:90-98.

Comunidad San Mateo Tlaltenango. S.A. En: <*http://www.comunidadsanmateo.com.mx/*>, última consulta: 13 de abril de 2013.

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. 2005. Sistema Cutzamala, agua para millones de mexicanos. En: <*http://www.conagua.gob.mx*>, última consulta: diciembre de 2012.

——. 2009. *Estadísticas del agua de la región hidrológico-administrativa* XIII. Aguas del valle de México, México.

Delgadillo, V.M. 2009. Patrimonio urbano y turismo cultural en la Ciudad de México: Las chinampas de Xochimilco y el Centro Histórico. *Andamios* 6(12):69-94.

Diamond, J. 1997. *Guns, germs and steel: the fates of human societies.* Norton. EUA.

Escolero-Fuentes, O., S.E. Martínez, S. Kralisch y M. Perevochtchikova. 2009. *Vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable de la Ciudad de México en el contexto de cambio climático*. En: <*http://www.cvcccm-atmosfera.unam.mx/documents/investigaciones/pdf/Agua_Escolero_%20InfFinal_org.pdf*>, última consulta: 11 de marzo de 2013.

Ezcurra, E. 1990. *De las chinampas a las megalópolis. El medio ambiente en la cuenca de México.* FCE, México.

Ezcurra, E. 2005. Una mirada hacia atrás para ver hacia delante. Pp. 13-24. En: *La Otra cara de tu ciudad. El suelo que nos conserva.* E. Ezcurra, E. Peters y G.L. Portales. GDF/PAOT/Secretaría de Cultura, México.

Ezcurra, E., M. Mazari, I. Pisanty y A. Aguilar. 2006. *La Cuenca de México.* FCE, México.

Flores, N.P. 2010. *Impacto del proceso de declinación sobre la productividad primaria neta en bosques de Abies religiosa*. Tesis de maestría en Ciencias, especialidad Forestal, Colegio de Postgraduados, México.

Flores-Sánchez, D., H. Navarro-Garza, A. Carballo-Carballo y Ma. A. Pérez-Olvera. 2012. Sistemas de cultivo y biodiversidad periurbana. Estudio de caso en la cuenca del río Texcoco. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 9(2):209-223.

Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C. 2016. En: <*http://eambiental.org/site/*>, última consulta: 18 de abril de 2016.

García, P. 2007. Los recursos naturales y los pueblos originarios de la Ciudad de México. Pp. 87-113. En: *Los pueblos originarios de la Ciudad de México. Atlas etnográfico*. T. Mora (ed.) GDF/INAH, México.

GDF. Gobierno del Distrito Federal. 2012. *Atlas geográfico del suelo de conservación del Distrito Federal*. SMA/PAOT, México.

GEM y UACH. Gobierno del Estado de México y Universidad Autónoma de Chapingo. 2010. *Plan maestro para la restauración ambiental de la cuenca alta del río Lerma. Diagnóstico ecosistémico. Marco teórico y conceptual*. Gobierno del Estado de México, México.

González-Martínez, T.M. 2008. *Modelación hidrológica como base para el pago por servicios ambientales en la microcuenca del río Magdalena*, Distrito Federal. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Querétaro, México.

Griffiths, R.A., V. Graue, I.G. Bride y J.E. McKay. 2004. *Conservation of the axolotl* (*Ambystoma mexicanum*) *at Lake Xochimilco*, Mexico. UAM/Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuemanco (CIBAC).

Gutiérrez, M.A., J.C.E. Aguilar, G.J. Galdámez y S. Mendoza. 2010. Importancia ecológica y socioeconómica de los sistemas de policultivos maíz-frijol-calabaza en la Frailesca, Chiapas, México. En: <*http://www.somas.org.mx/imagenes_somas2/pdfs_libros/agriculturasostenible5/5_1/76.pdf*>, última consulta: 8 de marzo de 2013.

Guzmán, C.G.I. y A.M. Alonso. 2009. *Buenas prácticas en producción ecológica. Asociaciones y Rotaciones. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.* Gobierno de España, España.

Halffter, G. y P. Reyes-Catillo. 1975. Fauna de la cuenca del valle de México. Pp. 135-180. En: *Memorias de las obras del sistema del drenaje profundo del D.F. Vol. I.* R. Ríos (ed.). Talleres Gráficos de la Nación, México.

Ibáñez, A.L., H. Espinosa-Pérez y J.L. García Calderón. 2011. Datos recientes de la distribución de la siembre de especies exóticas como base de la producción pesquera en aguas interiores mexicanas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82:904-911.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2007. Censo agrícola, ganadero y forestal 2007. En: <*http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/Agro/ca2007/Resultados_Agricola/default.aspx*>, última consulta: 10 de marzo de 2013.

——. 2010. Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. En: <*http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/aeeum/2010/Aeeum10_1.pdf*>, última consulta: 12 de marzo de 2013.

IG e INE. Instituto de Geografía e Instituto Nacional de Ecología. 2006. Urbanización periférica y deterioro en la Ciudad de México. El caso de la delegación Tlalpan en le Distrito Federal. En: <*www.inecc.gob.mx/descargas/ord_ecol/proy_urba_tlalpan.pdf*>, última consulta: 18 de abril de 2016.

Jujnovsky, J., L. Almeida-Leñero, M. Bojorge, *et al.* 2010. Hydrologic ecosystem services: water quality and quantity in the Magdalena River, Mexico City. *Hidrobiológica* 20(2):113-126.

Jujnovsky, J., T. González-Martínez, E. Cantoral y L. Almeida. 2012. Assessment of Water Supply as an Ecosystem Service in a Rural-Urban Watershed in Southwestern Mexico City. *Environmental Management* 49(3):690-702.

Lazos, E. y M. Chauvet. 2011. Análisis del contexto social y biocultural de las colectas de maíces nativos en México. Informe Final Primera versión. CONABIO/UNAM/UAM. México.

Lee, J. y D.M. Gardiner. 2012. Regeneration of Limb Joints in the Axolotl (*Ambystoma mexicanum*). PLoS ONE 7(11).

Lomas, T. 2009. *Dinámica de la Frontera Forestal en la Sierra Ajusco Chichinautzin.* Tesis de doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Estado de México.

Losada, H., H. Martínez, J. Vieyra, *et al.* 1998. Urban agriculture in the metropolitan zone of Mexico City: changes over time in urban, suburban and peri-urban areas. *Environment and Urbanization* 10:37-54.

MA. Millenium Ecosystem Assessment. 2003. Ecosystem and their services. Pp. 49-70. En: *Ecosystems and human well-being: A Framework for Assessment.* J. Alcamo *et al.* Island Press, Washington, D.C.

——. 2005. Living beyond our means: natural assets and human well-being. En: <*http://www.millenniumassessment.org/documents/document.429.aspx.pdf*>, última consulta: 7 de marzo de 2013.

Maderey, L.E. y A. Jiménez. 2005. *Principios de hidrogeografía: estudio del ciclo hidrológico.* Serie Textos Universitarios.

Merino, L. 2004. Conservación o deterioro. *El impacto de las políticas en las instituciones comunitarias y en las prácticas de usos de los recursos forestales en México.* INE/SEMARNAT-CCMSS, México.

MerlÍn-Uribe, Y., C. González-Esquivel, A. Contreras-Hernández, *et al.* 2013. Environmental and socio-economic sustainability of chinampas (raised beds) in Xochimilco, Mexico City. *International Journal of Agricultural Sustainability* 11(3):216-233.

Moran, H. y R. Soriano-Robles. 2010. Diversidad biológica en la agricultura periurbana del Distrito Federal. *Atelie Geográfico* 4:233 - 250.

Neyra, G.L. y L. Durand. 1998. Biodiversidad. Pp. 61-102. En: *La diversidad biológica de México: Estudio de país*. CONABIO (ed.). México.

Niederberger, C. 1987. *Paléopaysages et archeology pre-urbaine du bassin du Mexico (Mexique).* 2 vols. Centre d'études mexicaines et centroaméricaines. Mexico.

OEIDRUS-DF. Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable en el DF. 2014. Catálogo de productores del Suelo de Conservación en el D.F. En: <*http://www.oeidrus-df.gob.mx/*>, última consulta: 18 de abril de 2016.

Ortíz-Hernán, P.E. 2006. *Una mirada al pasado: Evolución de las chinampas en la cuenca de México desde su creación a la colonia.* Tesis de licenciatura en Geografía. UNAM.

PAOT. Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Gobierno del Distrito Federal. 2005. Elementos para una gestión adecuada del suelo de conservación del Distrito Federal. Documento de trabajo. PAOT. México.

Pérez-Salom, J.R. 1997. *El Derecho Internacional y el estatuto de los recursos genéticos*. Anuario de derecho internacional XIII. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Navarra. España.

Pisanty, B.I., I.M. Masari, E. Ezcurra, *et al.* 2009. El reto de la conservación de la diversidad en zonas urbanas y periubanas. Pp. 719-759. En: *Capital Natural de México, vol. II: estado de conservación y tendencias de cambio*. R. Dirzo, R. González, e I. March (eds.). CONABIO, México.

PNUMA. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 1993. Convenio sobre la Diversidad Biológica. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. En: <*http://www.cbd.int*>, última consulta: 8 de marzo de 2013.

Popper, S.V. 1995. *Nahua plant knowledge and chinampa farming in the Basin of Mexico: a Middle Postclassic case study*. University of Michigan.

Pozo, G.A. 2011. *Las chinampas de Xochimilco al despuntar el siglo* XXI*: Inicio de su catalogación*. Casa abierta al tiempo. UAM. México.

Ramos-Elorduy, J. 2006. Threatened edible insects in Hidalgo, Mexico and some measures to preserve them. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 2(51).

Rojas-Rabiela, T. 1985. La cosecha del agua. Pesca, caza de aves y recolección de otros productos biológicos acuáticos de la cuenca de México. *Cuadernos de la Casa Chata* 116:1-112.

Rojas-Rabiela, T. 1998. La cosecha de agua en la cuenca de México. CIESAS. México.

Romero, F.J., H. Rangel-Cordero, A. Estévez-Ramírez, M. Escamilla y L. Cabrera-García. 1999. Aspectos sociodemográficos y actividades productivas rurales del sur de la Cuenca de México. Pp. 229-258. En: *Biodiversidad de la región de la montaña del sur de la cuenca de México: bases para el ordenamiento ecológico*. A. Velázquez y F. J. Romero (eds.). UAM/SMA, México.

SACAM. Sistema de Aguas de la Cuidad de México. 2010. Los principales retos del Sistema de Aguas de la Ciudad de México. En: <*http://www.agua.unam.mx/apppam/assets/pdfs/ramon_aguirre.pdf*>, última consulta: 11 de marzo de 2013.

SAG. Secretaría de Agricultura y Ganadería. 1947. Decreto por el cual se declara veda total indefinida de recuperación y de servicio para todos los bosques del Estado de México y del Distrito Federal. *Diario Oficial de la Federación*. TCLXI.

SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2011. Anuario Estadístico de acuacultura y pesca 2011. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. México. En: <*http://www.siap.gob.mx/wp-content/uploads/2013/12/Anuario-Estadistico-de-Acuacultura-y-Pesca-2011-.pdf*>, última consulta: 14 de abril de 2016.

——. 2012. Servicio de Información agroalimentaria y pesquera. En: <*http://www.siap.gob.mx*>, última consulta: 8 de marzo de 2013.

Salvia, S.A. 1989. *Los laberintos de Loreto y Peña Pobre*. El Caballito, México.

Sanders, T.W., R.J. Parsons y S.R. Santley. 1979. *The Basin of Mexico: Ecological Processes in the evolution of a civilization*. Academic Press. Nueva York.

SEDERC. Secretaría de Desarrollo Rural y Equidad para las Comunidades. 2010. Programa de desarrollo agropecuario y rural en la Ciudad de México. Gaceta Oficial del Distrito Federal 17(776):164-187. En: <*http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/DistritoFederal/wo44424.pdf*>, última consulta: diciembre de 2012.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2003. Anuario estadístico de la producción forestal 2003. CONAFOR/SEMARNAT, México. En: <*http://www.cnf.gob.mx:8080/snif/portal/economica/anuarios-estadisticos-de-la-produccion-forestal*>, última consulta: 11 de marzo de 2013.

——. 2005. Anuario estadístico de la producción forestal 2005. CONAFOR/SEMARNAT. México. En: <*http://www.cnf.gob.mx:8080/snif/portal/economica/anuarios-estadisticos-de-la-produccion-forestal*>, última consulta: 11 de marzo de 2013.

——. 2009*a*. Anuario estadístico de la producción forestal 2009. CONAFOR/SEMARNAT. México. En: <*http://www.cnf.gob.mx:8080/snif/portal/economica/anuarios-estadisticos-de-la-produccion-forestal*>, última consulta: 11 de marzo de 2013.

——. 2009*b*. *Manual que establece los criterios técnicos para el aprovechamiento sustentable de recursos forestales no maderables de clima templado-frío*. SEMARNAT, México.

Serra-Puche, M.C. y R. Valadez-Azúa. 1989. Importancia de los venados en Terremote-Tlaltenco. *Ciencia y Desarrollo* 15(85):63-72.

Serratos-Hernández, J.A., J.L. Gómez-Olivares, N. Salinas-Arreortua, *et al.* 2007. Transgenic proteins in maize in the Soil Conservation area of Federal District, Mexico. *Research Communications* 5(5):247-252.

Serratos-Hernández, J.A. 2010. Proyecto "Conservación, uso y bioseguridad del maíz nativo del altiplano mexicano por medio de agricultura ecológica en el Distrito Federal". Universidad Autónoma de la Ciudad de México. Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal/ SMA. México.

Serratos-Hernández, J.A., J. Foyer y F. Thomas. 2011. Proyecto: Les Suds Aujourd'hui. Nouvelles formes de socialisation du vivant au Sud, biotechnologies et gestion participative de la biodiversité. (UACM)/Institut de Recherche pour le Dèveloppement (Francia), México.

Serratos-Hernández, J.A., F.G. Castillo, T.A. Kato, *et al.* 2016 Conservación de la diversidad y la cultura del maíz nativo en el suelo de conservación. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México: Estudio de Estado,* vol II. CONABIO. México.

Sheinbaum, C. 2008. *Problemática ambiental de la Ciudad de México: Diagnóstico y experiencias de gestión*. 2001-2006. Limusa, México.

Simonian, L. 1999. *La defensa de la tierra del jaguar. Una historia de la conservación en México.* CONABIO/SEMARNAP/IMERNAR. México.

SMA. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2000. Estudio para la recarga del acuífero en el Suelo de Conservación del Distrito Federal. En: <*http://www.sma.df.gob.mx/sma/download/archivos/estudio_recarga_acuifero_suelo_%20de_conservacion.pdf*>, última consulta: 11 de marzo de 2013.

SMA y UNAM. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal y Universidad Nacional Autónoma de México. 2008. *Plan maestro de manejo integral y aprovechamiento sustentable de la cuenca del río Magdalena. Informe técnico. Secretaría de Medio Ambiente.* GDF/UNAM. México.

SMA Y SACM. 2007. *Programa de manejo sustentable del agua para la Ciudad de México.* SMA/SACM/ GDF, México.

Stephan-Otto, E. 2009. *Al estilo del pueblo. Los valores de Hoy de Xochimilco.* UNAM. México.

Tapia-Tapia, E del C. y R. Reyes-Chilpa. 2008. *Productos forestales no maderables en México: Aspectos económicos para el desarrollo sustentable. Madera y Bosques* 14(3):95-112.

Terrones, M.E. 2006. Xochimilco sin arquetipo. Historia de una integración urbana acelerada. *Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. Vol x 218(37).

Torres-Lima, P. y L. Rodríguez-Sánchez. 2006. Dinámica agroambiental en áreas periurbanas de México. Los casos de Guadalajara y Distrito Federal. *Boletín del Instituto de Geografía* 60:62-82.

Torres-Lima, P. y L. Rodríguez Sánchez. 2008. Farming dynamiccs and social capital: a case study of the urban fringe of Mexico City. *Environ. Devb. Sustain.* 10:193-208.

UAEM Y SMA. Universidad Autónoma del Estado de Morelos y Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2010. Actualización del Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal. UAEM/SMA/ GDF. México.

UNESCO. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 2012. *Aprendiendo a luchar contra la desertificación*. En: <*http://www.unesco.org/mab/doc/ekocd/spanish/chapter18.html*>, última consulta: 14 de abril de 2013.

Urquiza, E.G. 2009. Análisis de capacidades nacionales para la conservación *in situ*. Pp. 51–9. En: México: *Capacidades para la conservación y uso sustentable de la biodiversidad.* CONABIO y PNUD (eds.), México.

Valdivia-Martínez, E. 2006. *Recolección de la flora medicinal del sureste del DF, México*. Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias. UNAM. México.

Velázquez, A. y F. J. Romero. 1999. *Biodiversidad de la región de montaña del sur de la Cuenca de México: bases para el ordenamiento ecológico.* UAM/SEMARNAP.

Villarruel, O.J.L. y J. Cifuentes. 2007. Macromicetos de la cuenca del río Magdalena y zonas adyacentes, delegación La Magdalena Contreras, México, D.F. *Revista Mexicana de Micología* 25:58-68.

Villegas, G., A. Bolaños y L. Olguín. 2001. *La ganadería en México*. Instituto de Geografía, Plaza y Valdés, México.

Vitz, M. 2012. La ciudad y sus bosques. La conservación forestal y los campesinos en el valle de México, 1900-1950. *Estudios de historia moderna y contemporánea de México* 43:135-172.

Vörösmarty, C.J., C. Lévêque, C. Revenga, *et al*. 2005. Freshwater. Pp. 165-208. En: *Ecosystems and human well-being: Current state and trends, vol. 1*. R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.) Island Press, Washington, D.C.

Watson, J.D. 2006. *Biología molecular del gen*. Editorial Médica Panamericana.

Wood, S., S. Ehui, J. Alder, *et al*. 2005. Food. Pp. 209-242 En: *Ecosystems and human well-being: Current state and trends, vol. 1*. R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.) Island Press, Washington, D.C.

Zambrano, L., E. Valiente y M.J. Zanden. 2010. Food web overlap among native axolotl (*Ambystoma mexicanum*) and two exotic fishes: carp (*Cyprinus carpio*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Xochimilco, Mexico City. *Biological Invasions* 12:3061-3069.

Estudio de caso

Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena

Julieta Jujnovsky
Marisa Mazari Hiriart
Enrique Cantoral Uriza
Teresa González Martínez
Lucía Almeida Leñero

Introducción

La cuenca del río Magdalena (CRM) sirve como modelo de estudio para conocer los servicios ecosistémicos del suelo de conservación de la Ciudad de México (SC). Esta zona recibe diversas denominaciones como: zona protectora de los bosques de la cañada de contreras, zona protectora forestal del río de la Magdalena o simplemente "Los Dinamos". En este estudio de caso se sintetiza la información disponible para la zona a través de la caracterización ambiental, la identificación de los servicios ecosistémicos y de las principales amenazas del área.

Descripción ambiental

La CRM representa 4% del SC, se localiza en el límite suroeste de la cuenca de México, a los 19° 15' N y 99° 17' 30" O, dentro de la Faja Volcánica Transmexicana, en la vertiente occidental de la sierra de las Cruces; en su área natural ocupa una superficie de 30 km², con un intervalo altitudinal de los 2 470 a los 3 870 msnm (figura 1) (Ávila-Akerberg 2004). En esta cuenca nace el río Magdalena, a los 3 550 msnm en la zona de Cieneguillas, producto de escurrimientos y manantiales de los cerros La Palma, Gavilán y Muñeco (Legorreta 2009). Recibe además diversos escurrimientos a lo largo de sus 21.6 km de cauce (12 km dentro del área de conservación) desciende abruptamente a lo largo de la zona conocida como parque de Los Dinamos, y fluye a través de las delegaciones Cuajimalpa, Álvaro Obregón, La Magdalena Contreras y Coyoacán.

El río Eslava es el principal afluente del río Magdalena, se origina en la sierra del Ajusco a 3 350 msnm a partir de los escurrimientos de los cerros Las Canoas, Tarumba y Sasacapa, con aportes de las cañadas Agua Escondida y Atzoma, además de ser el límite entre las delegaciones Tlalpan y La Magdalena Contreras (Legorreta 2009). El río Eslava se une al Magdalena en la zona urbana y se adentra en la ciudad a cielo abierto hasta la presa Anzaldo en donde es entubado y dirigido al río Churubusco (Álvarez 2000), posteriormente recorre 13.4 km hasta desembocar en el colector de la avenida río Churubusco. Durante su recorrido, el río Magdalena transcurre 52% en el área natural y 48% en el área urbana (PUMA y UNAM 2009).

La naturaleza de las rocas que afloran en la CRM (andesitas y basaltos fracturados o piroclastos) es fundamental en los procesos de infiltración de agua de lluvia. Su posición topográfica alta le imprime una buena cantidad de energía cinética al agua infiltrada, la cual permite que emerja a la superficie en distancias relativamente cortas (flujos locales) o bien trasladarse a lugares relativamente distantes (flujos intermedio y regional), donde aflora por medio de manantiales o en pozos de

Jujnovsky, J., M. Mazari-Hiriart, E.A. Cantoral-Uriza, T.M. González-Martínez y L. Almeida-Leñero. 2016. Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.115-126.

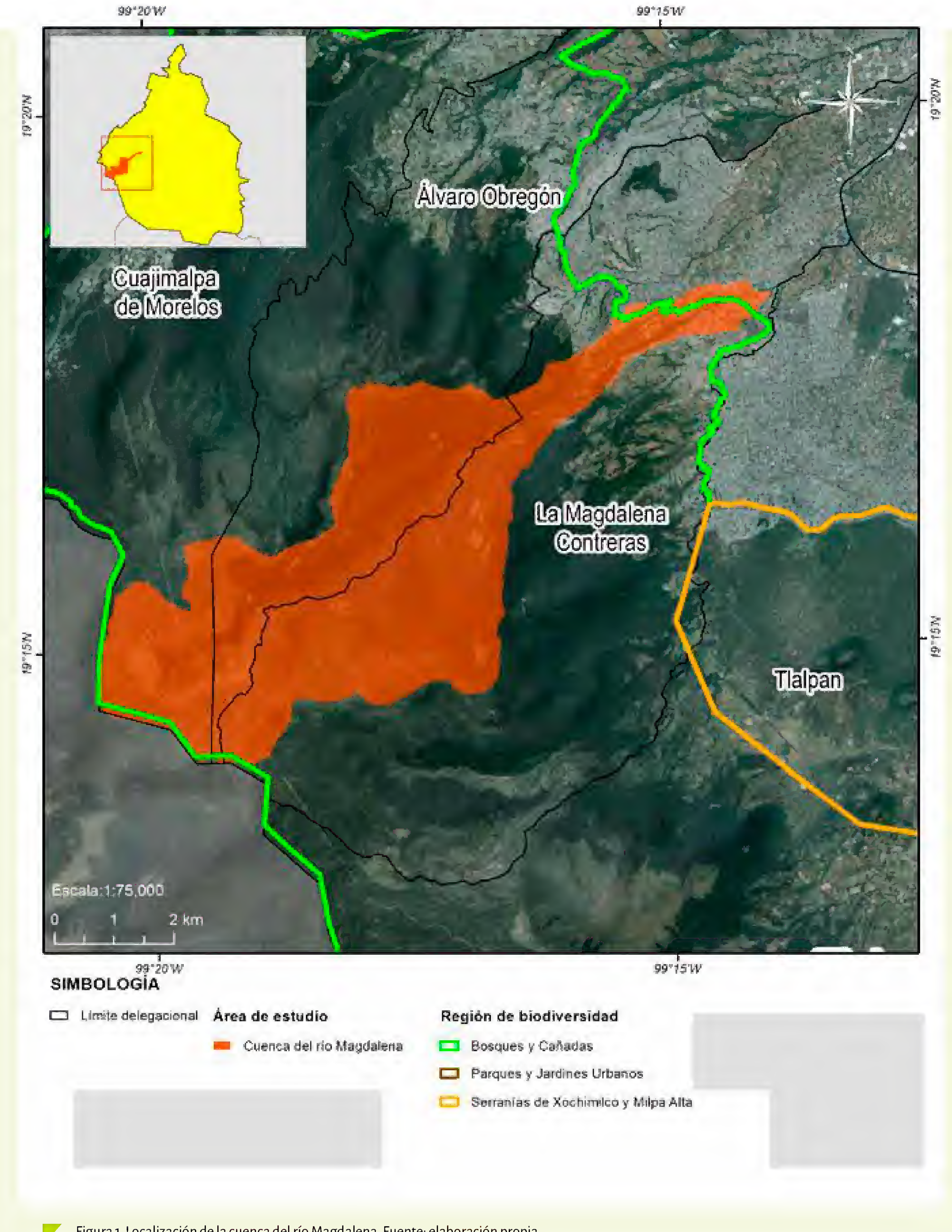


Figura 1. Localización de la cuenca del río Magdalena. Fuente: elaboración propia.

extracción. Los suelos son de buena calidad, debido a que presentan una cantidad aceptable de materia orgánica en los horizontes superficiales (>6%), son ligeramente ácidos (pH 6-6.5), con entre 30 y 60% de humedad, poco pedregosos y con buena fertilidad, estas condiciones aunadas a su topografía accidentada permiten que tengan una aptitud forestal (León 2011).

El clima es templado en las partes más bajas (2 620 - 2 750 msnm) con una temperatura media anual entre 12 y 18° C y una oscilación térmica anual entre 5 y 7° C mientras que en las zonas altas (2 750 - 3 800 msnm) el clima es semifrío, con una temperatura de 5 a 12° C y con una variación de la temperatura menor de 5° C (figura 2); siendo el mes de mayo donde se registra la máxima temperatura (Dobler 2010). La región se afecta por los sistemas de circulación atmosférica que definen la época húmeda y lluviosa en el verano (junio a octubre, siendo julio el mes con mayor cantidad de precipitación) y la seca (abril a mayo). La cantidad de lluvia recibida fluctúa entre 900 y 1 300 mm anuales y registra menos de 5% de lluvia invernal con respecto al total anual (Dobler 2010).

La CRM es un importante remanente de vegetación para las montañas que rodean la cuenca de México, abarcando 3 000 ha (Ávila-Akerberg *et al*. 2008). En esta área se describen tres tipos de bosques templados. El primero de ellos es el bosque de coníferas dominado por *Pinus hartwegii* presente en las partes más altas (3 420-3 870 msnm), con 1 018 ha (20% de la superficie), asociada con dos comunidades de pastos *Muhlenbergia quadridentata* y *Festuca tolucensis* (figura 3*a*). El segundo es el bosque de oyamel o *Abies religiosa* (2 750 a los 3 500 msnm) con 1 130.3 ha, que corresponde 38% de la superficie; se asocia con *Roldana angulifolia*, *Acaena elongata* conocida como Cadillo, pega ropa, abrojo (Martínez 1979; Rzedowski *et al*. 2001 y Rzedowski y Calderón Rzedowski 2005) y *Senecio cinerarioides* como jarilla blanca (figura 3*b*). Finalmente, el bosque mixto de pino-encino, con tres comunidades *Quercus laurina-Abies religiosa*, *Quercus laurina-Q. rugosa* y *Pinus patula-Cupressus lusitanica-Alnus jorullensis* (figura 3*c*) (Nava 2003).

Biodiversidad

Las características biofísicas de la CRM originaron que se formara un refugio importante para la riqueza biológica (figura 4), pese a su cercanía a la ciudad. Se han registrado 780 especies de plantas, 111 especies de algas y 194 especies de vertebrados, además de 74 especies de hongos (Cantoral *et al*. 2010) (cuadro 1).

La existencia de 41 especies en alguna categoría de riesgo (protección especial, amenazadas o en peligro de extinción) por la NOM (SEMARNAT 2010), es una muestra de la riqueza en biodiversidad de la cuenca del río Magdalena y alerta sobre la necesidad de establecer lineamientos de manejo ecosistémico para su conservación.

Los servicios ecosistémicos

Los ecosistemas son indispensables para el bienestar de los seres humanos. A los beneficios que se obtienen de los ecosistemas se les llaman "servicios ecosistémicos" y se clasifican en servicios de provisión, de regulación, culturales y de soporte (MA 2003).

La CRM es una zona boscosa que presenta muchos servicios ecosistémicos esenciales para los habitantes de la entidad, entre los más importantes se encuentran los servicios de corte hidrológico, la provisión de agua, tanto superficial como subterránea. El agua que fluye por el río Magdalena representa la fuente más relevante de agua superficial para la Ciudad de México. Éste se considera como el sistema de escurrimiento en mejor estado de conservación y provee cerca de 21 millones de m^3/año, con un flujo promedio de 0.67 m^3/s con picos en temporada de lluvias de hasta 20 m^3/s (González-Martínez 2008, Jujnovsky *et al*. 2010, 2012).

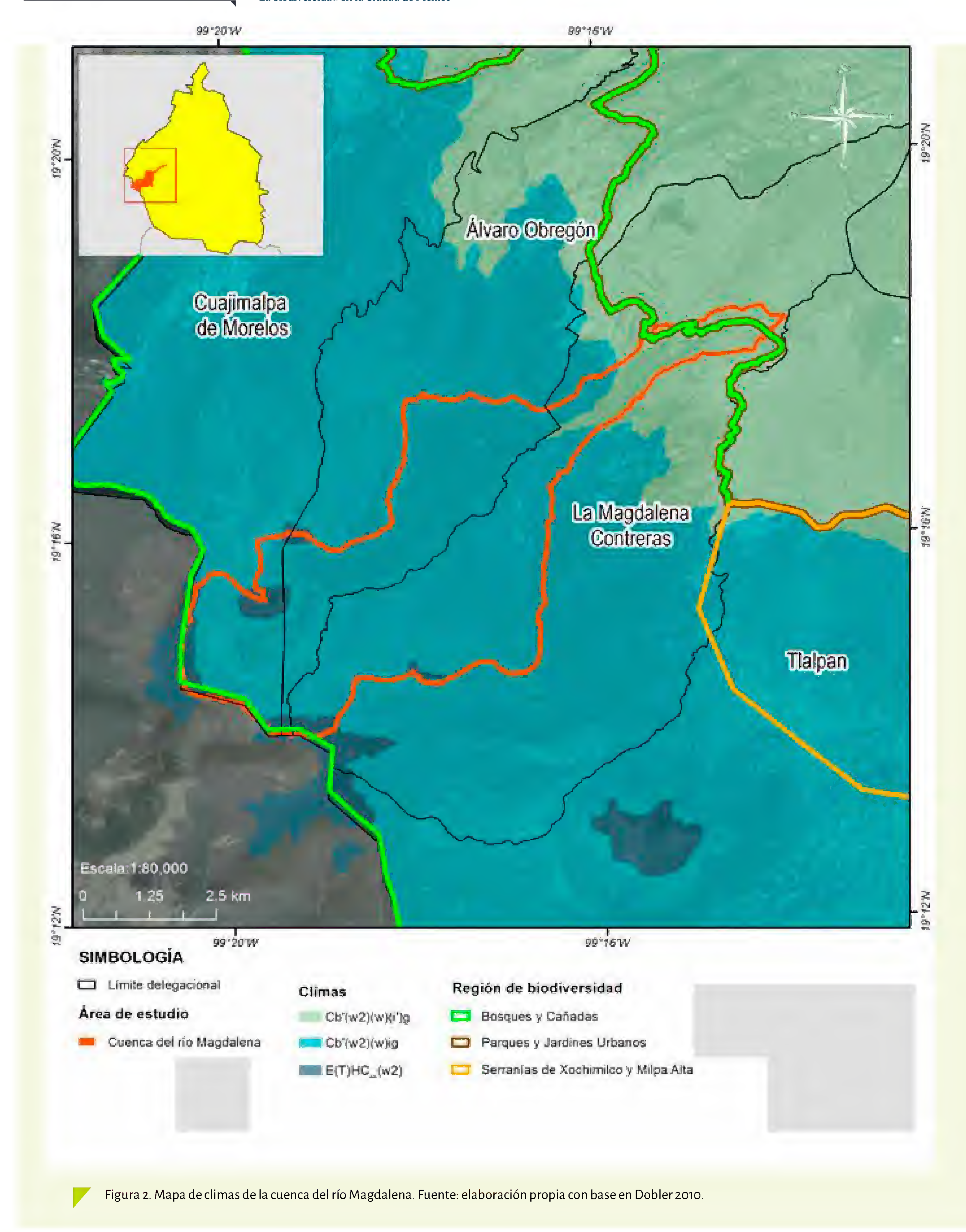


Figura 2. Mapa de climas de la cuenca del río Magdalena. Fuente: elaboración propia con base en Dobler 2010.

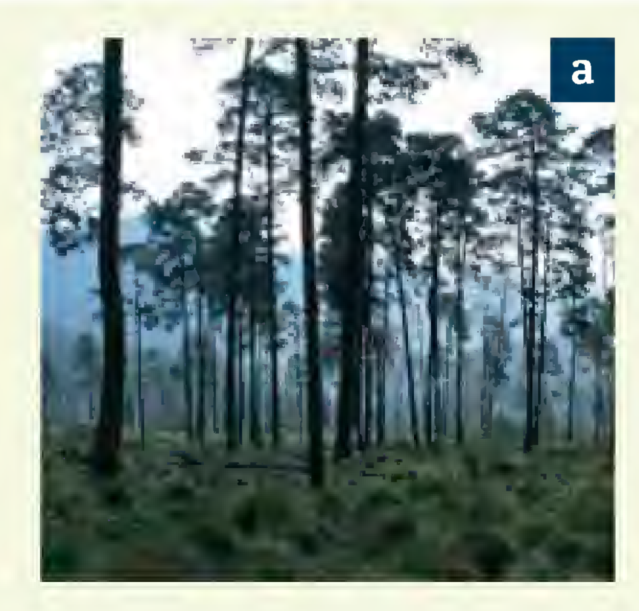






Figura 3. Fisonomía de la vegetación en la cuenca del río Magdalena; (a) bosque de *Pinus*, (b) bosque de *Abies* y (c) bosque de *Quercus*. Fotos: Verónica Aguilar 2006, laboratorio de Ecosistemas de Montaña Alya Ramos 2012.

Cuadro 1. Especies de la cuenca del río Magdalena.

Categorías	Algas	Plantas	Hongos Macromicetos	Macro-invertebrados	Mariposas	Anfibios	Reptiles	Aves	Mamíferos	Total
Familias	29	96	38	14	5	5	5	37	16	245
Géneros	57	334	54	15	31	4	10	92	29	626
Especies	111	780	74	-	36	9	17	128	40	1 195
Subespecies	3	70	-	-	-	-	-	-	-	73
Uso	-	187	27	-	-	-	-	18	-	232
Amenazadas	-	3	4	-	-	4	4	1	2	18
En peligro de extinción	-	1	-	-	-	-	-	1	-	2
Sujeta a protección especial	-	6	-	-	-	4	2	7	2	21
Endémicas a México	-	120	-	-	-	-	-	-	11	131
% Relativo de la riqueza de especies de la CRM	9.3	65.3	6.2	1.3	3.0	0.7	1.4	10.7	3.3	

Fuente: Cantoral *et al.* 2010.

Diversos estudios muestran que el agua del río Magdalena es relativamente de buena calidad, inclusive para consumo humano en la cuenca alta y media, presenta un cambio gradual de calidad conforme el río fluye hacia la zona baja el cual es notorio al incrementarse las actividades humanas. El cambio de la calidad del agua se va dando de manera gradual, vinculando la variabilidad de las características fisicoquímicas con las modificaciones que sufre la estructura de las comunidades de diatomeas, así como las densidades de bacterias indicadoras de contaminación fecal, coliformes totales, coliformes fecales, *enterococos* fecales y *Vibrio* spp., (Bojorge 2006, PUEC y UNAM 2008, Monges 2009, PUMA y UNAM 2009, Morales-Luque 2010, Jujnovsky *et al.* 2010).

En cuanto a los servicios de regulación, la vegetación favorece el control de inundaciones debido a que promueve la estabilidad del suelo



Figura 4. Biodiversidad en la cuenca del río Magdalena: *a)* micro alga diatomea. (*Cocconeis placentula*), foto: Enrique Cantoral Urquiza, *b)* tacote (*Salvia mexicana*), foto: Pedro Tenorio Lezama *c)* matamoscas (*Amanita muscaria*), foto: Carlos Eduardo Obregón *d)* tlaconete pinto (*Pseudoeurycea belli*), foto: Julio César Huitzíl Mendoza, *e)* gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*), foto: Miguel Ángel Sicila Manzo *f)* cascabel enana (*Sistrurus ravus*) foto: Victor Hugo Luja y *g)* murciélago de cola larga (*Tadarida brasiliensis*), Aldo Antonio Guevara Carrizales.

y a mantener el ciclo hidrológico local. Se han establecido 36 presas de gavión, que ayudan a disminuir la velocidad del flujo hídrico por lo que el agua tarda más en fluir a través del cauce del río Magdalena. Sin embargo, ésta es una medida que debe evaluarse ya que se han colocado demasiadas a lo largo del cauce, y esto puede traer consecuencias en la dinámica hidrológica y en la fragmentación del hábitat de los macroinvertebrados que habitan en el cauce del río.

Además de los servicios hidrológicos, el hecho de que casi 70% de la vegetación arbórea esté conservada hace que funcione como pulmón de la ciudad filtrando parte de la contaminación ambiental que se produce en ésta. La presencia de la cobertura vegetal y los procesos como el reciclaje de la materia a través de la caída de hojarasca y su descomposición, tienen como beneficios adicionales la captura y almacenamiento de carbono en suelos y biomasa arbórea (Almeida-Leñero *et al.* 2007, Nava 2006).

El mosaico de vegetación de la CRM alberga una gran riqueza de plantas (Ávila-Akerberg *et al.* 2008). Hay registradas hasta la fecha 187 plantas útiles, 25 de las especies son comestibles. También se tienen registradas 143 plantas medicinales, dentro de los usos más importantes se encuentran las que sirven para curar infecciones del aparato digestivo, respiratorio, urinario e infecciones de la piel (Hernández-Sánchez 2009).

A esta riqueza se añade una gran variedad de hongos comestibles, así como la existencia de una diversidad de fauna nativa de la cuenca de México (Cantoral *et al.* 2009). A su vez, el estado de conservación de sus bosques y la importancia histórica proveen servicios culturales como la belleza escénica o la herencia cultural (Almeida-Leñero *et al.* 2007).

A partir de la síntesis de información generada para la zona y utilizando el marco conceptual del Millennium Ecosystem Assessment (MA 2003), se reconocieron 19 servicios ecosistémicos, los cuales fueron clasificados en servicios de provisión, regulación, culturales y de soporte (cuadro 2).

Amenazas y conservación

En las últimas décadas las actividades humanas introdujeron fuertes cambios en los ecosistemas para satisfacer la creciente demanda por sus servicios. Esta presión se observa en el crecimiento acelerado de la mancha urbana de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). En este contexto, aunque el área natural de la CRM se valora como conservada, existen distintas amenazas que pueden poner en riesgo la capacidad de la cuenca como proveedora de servicios ecosistémicos. La relación entre el uso del suelo habitacional, en especial los sitios de la zona baja de la cuenca donde se ha extendido la mancha urbana dominada por asentamientos irregulares, carentes de sistema de drenaje y alcantarillado tiene un efecto negativo sobre el río.

Las mediciones de la calidad del agua de la cuenca permiten determinar que en el área natural el agua es de buena calidad, aunque persiste la amenaza ocasionada por el libre pastoreo y por el aporte de residuos sólidos generados por las actividades recreativas que ahí se desarrollan (figura 5*a*). En la zona urbana, la calidad del agua del río disminuye debido a la presencia de descargas de aguas residuales, entre otros factores de deterioro (Facultad de Ciencias-UNAM 2008, Jujnovsky *et al.* 2010) (figura 5*b*).

Por lo tanto, a corto plazo se requiere controlar el crecimiento urbano en las laderas donde se han desarrollado asentamientos irregulares en zonas de alto riesgo por deslaves, que afectan el servicio de regulación de la calidad del agua, debido a los aportes irregulares de aguas residuales. Además, con estos asentamientos se afecta el servicio de provisión de agua derivados de la disminución del área de recarga.

Existen distintos procesos de degradación que tienen que ser atendidos mediante estrategias de manejo. Uno de ellos se relaciona con la erosión hídrica o con los desplazamientos de materiales rocosos y suelo. Asimismo,

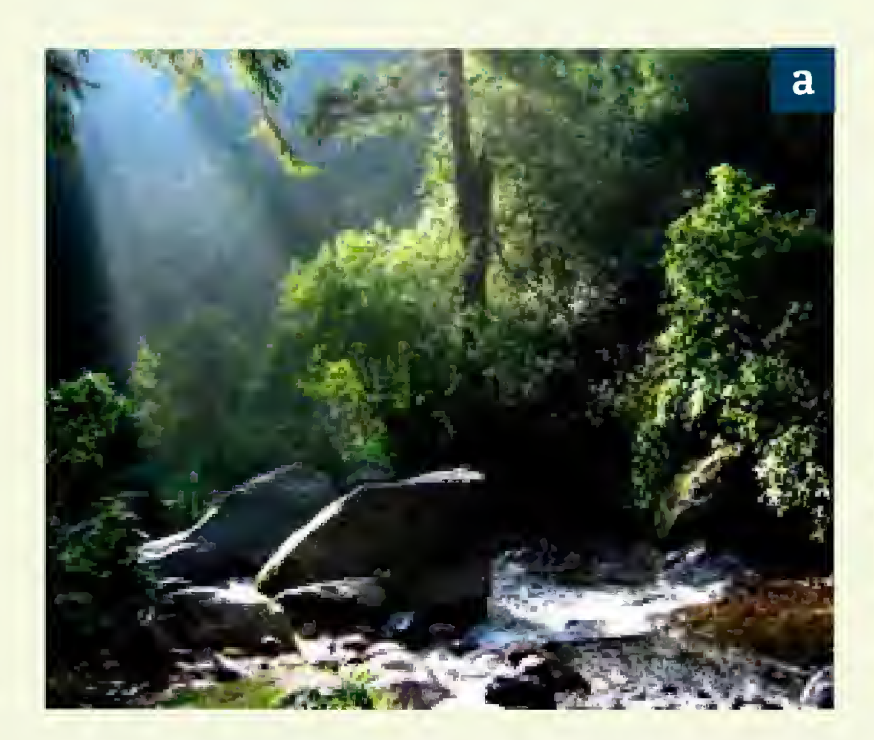
Cuadro 2. Servicios ecosistémicos identificados para la cuenca del río Magdalena.

Servicios Ecosistémicos			
Provisión	**Regulación**	**Culturales**	**Soporte**
1. Agua dulce. Menos de 1% del agua que llueve se infiltra hacia el acuífero profundo, ya que aflora en forma de manantiales. Escurren 20 millones m³ de agua en el río, permitiendo que más de 30% de esta agua se aproveche para abastecimiento urbano.	1. Regulación de la calidad de agua. La zona natural presenta especies algales características de aguas limpias poca densidad de bacterias indicadoras de contaminación fecal y bajos niveles de nutrimentos.	1. Recreación. La parte baja y media de la cuenca tiene áreas de esparcimiento que reciben aproximadamente 120 mil personas al año.	1. Productividad primaria. Los mayores valores de productividad primaria se encuentran hacia la parte baja de la zona natural.
2. Alimentos. El suelo natural provee plantas como la dalia de campo (*Dahlia pinnata*) de la cual se consume la raíz, hongos comestibles como el pambazo (*Boletus edulis*), algas y animales comestibles como la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) que es cultivada en estanques para su venta en la zona.	2. Almacenamiento de carbono. El estrato arbóreo del bosque de *Abies* almacena en promedio 58 tC/ha y el bosque de *Pinus* 44 tC/ha.	2. Herencia cultural. Existe una fuerte herencia cultural asociada al bosque, por la presencia de poblaciones que datan desde hace más de 700 años, con vestigios arqueológicos. En la actualidad se hacen ceremonias religiosas.	2. Ciclo de nutrientes. La tasa de descomposición de la materia orgánica muerta en el suelo es rápida. Se han registrado valores altos de N y C en el piso altitudinal medio del bosque de *Abies religiosa*, lo cual podría explicarse por la alta productividad del sistema y una descomposición un poco más lenta en comparación con el bosque mixto y de *Quercus*.
3. Recursos genéticos. Son un reflejo de la diversidad de la zona. Se tiene registro de 1 195 especies en las que se incluyen algas, plantas, hongos y vertebrados. Al menos 143 especies tienen propiedades medicinales.	3. Polinización. Se registran especies polinizadoras de colibríes (*Hylocharis leucotis*, *Lampornis clemenciae* y *Eugenes fulgens*) y murciélagos (*Anoura geoffroyi* y *Choeronycteris mexicana*).	3. Belleza escénica. El bosque, el río, las cascadas y los manantiales, contribuyen a crear un clima de armonía en el cual los visitantes disfrutan del paisaje.	3. Formación de suelos. Estos procesos continúan en la zona natural, ya que en la porción urbana la mayor parte de la superficie está pavimentada.
4. Maderas, fibras y no maderables. Existen algunos recursos no maderables con potencial para su aprovechamiento, como son plantas medicinales y de ornato, conos y especies forrajeras.	4. Regulación de plagas y enfermedades. Se han identificado especies controladoras de plagas y enfermedades, principalmente aves y hongos.	4. Valor educativo y científico. Esta zona ha fomentado la formación de investigadores de distintas instituciones de educación, lo que ha permitido entender muchos procesos ambientales y sociales que ocurren en la zona. Asimismo existen actividades enfocadas a la educación ambiental promovidas por comuneros, instituciones educativas y dependencias de los tres órdenes de gobierno.	4. Mantenimiento de la biodiversidad. Es un espacio que sirve de refugio y hábitat de especies. Hasta el momento se tienen reportadas en la zona natural las siguientes especies, las cuales conforman parte de su biodiversidad: 780 especies de plantas vasculares y no vasculares 194 especies de vertebrados 111 especies de algas 74 especies de hongos macromicetos
	5. Regulación de poblaciones. Las especies insectívoras de aves y de lagartijas, colaboran en mantener en equilibrio a las poblaciones de insectos. Cuatro especies de aves rapaces regulan las poblaciones de otras aves y de roedores. Los mamíferos carnívoros como lince (*Lynx rufus*), comadreja (*Mustela frenata*), zorra (*Urocyon cinereoargenteus*) y coyote (*Canis latrans*), y las serpientes de cascabel como *Crotalus transversus* y *C. ravus*, contribuyen a mantener las poblaciones de roedores, lagartijas y anfibios.		

Cuadro 2. Continuación

Servicios Ecosistémicos			
Provisión	**Regulación**	**Culturales**	**Soporte**
	6. Regulación de inundaciones y remoción de masa. La vegetación de la CRM favorece a que no haya remoción en masa en el área y a mantener el ciclo hidrológico local.		
	7. Regulación de la erosión. La vegetación conservada de la zona natural contribuye a controlar los procesos erosivos, lo que se refleja en la baja cantidad de sólidos suspendidos en el río.		
	8. Dispersión de semillas. Existe registro de numerosas especies dispersoras de semillas, principalmente aves (córvidos, la tortolita común, tordos, pájaros semilleros, el zanate, y especies de gorriones), roedores y ardillas.		

Fuentes: Almeida-Leñero *et al.* 2007, Facultad de Ciencias-UNAM 2008, Cantoral *et al.* 2010.



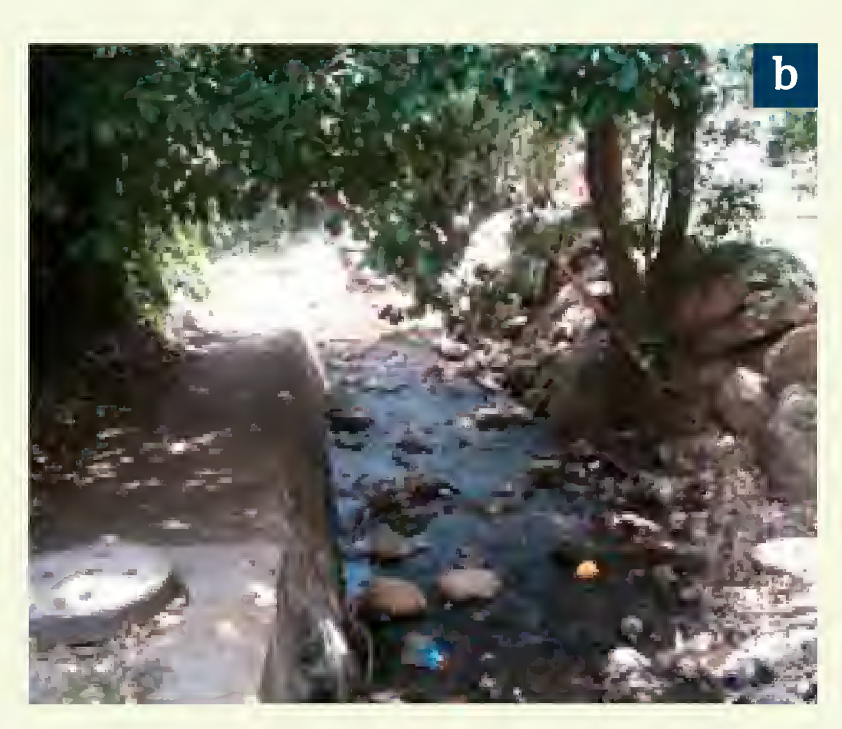


Figura 5. El río Magdalena presenta buena calidad en las partes altas de la cuenca (a), mientras que en la zona urbana se observa un colector marginal del lado izquierdo (b). Fotos: Lucía Almeida y Alya Ramos.

la falta de vigilancia favorece la extracción ilegal de flora y fauna de su medio silvestre, y ocasiona la disminución de la biodiversidad y de especies endémicas. Estos bosques presentan en algunos sitios bajos niveles de regeneración por la presencia de especies invasoras como, *Taraxacum oficinale*, *Brassica rapa*, *Castilleja arvensis*, *Picris echioides*, etc., la reforestación con especies no nativas, la presencia de especies parásitas como es el caso del muérdago (*Arceuthobium vaginatum* subsp. *vaginatum* y *Arceuthobium globosum* subsp. *grandicaule*) y por la carencia de un manejo ecosistémico forestal (Hernández-Sánchez 2012). Otra de las principales amenazas es el riesgo de incendios forestales de gran magnitud, cuya mayor incidencia se localiza en el noroeste, sobre el margen izquierdo del río, donde la precipita-

ción anual es menor que en el resto del área (Villers *et al*. 2009).

Finalmente, hay actividades productivas que impactan el equilibrio ambiental de la zona, algunas de ellas son de carácter ilegal (tala de árboles) y otras se realizan sin ningún control de las autoridades (sobrepastoreo de ganado, cultivo de trucha y actividades ecoturísticas).

Conclusión y recomendaciones

La viabilidad actual y futura de la Ciudad de México depende de manera significativa de la existencia de las zonas boscosas que la rodean. La importancia primordial de la CRM radica en la provisión de servicios ecosistémicos que genera y que benefician a los habitantes de la ciudad, especialmente la provisión de agua. Por lo tanto es necesario identificar y emprender acciones para eliminar las principales amenazas en la cuenca, como controlar el crecimiento de la mancha urbana (asentamientos irregulares), resolver los litigios que afectan el área así como la posible categorización de la zona como área natural protegida. De la misma forma es necesario identificar el origen de las inundaciones para establecer barreras naturales y artificiales que disminuyan la velocidad de flujo durante las crecidas de agua.

Por lo anterior, asociado a la importancia de las zonas boscosas y de su vulnerabilidad al crecimiento urbano de la Ciudad de México, es indispensable que los programas del gobierno federal, del gobierno y de las delegaciones involucradas establezcan proyectos de restauración, conservación, y aprovechamiento bajo un esquema de manejo integral de ecosistemas, como las planteadas en el Plan Maestro Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del río Magdalena (PUEC y UNAM 2008), que permitan a corto, mediano y largo plazo el mantenimiento de la cuenca hidrográfica. Es importante involucrar al sector académico (ecólogos, geógrafos, sociólogos, antropólogos, economistas, arquitectos entre otros) con los actores sociales (comuneros, comerciantes, visitantes y habitantes), así como establecer un sistema de monitoreo participativo que permita conocer a detalle las modificaciones para así poder tomar medidas de atención inmediatas y pueda ser considerada como un modelo de manejo para las cuencas vecinas.

Agradecimientos

A la delegación La Magdalena Contreras, Secretaría de Desarrollo Institucional, Unidad de Apoyo a la Investigación en Facultades y Escuelas Macroproyecto SDEI-PTID-02; Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad (PUEC); Gobierno de la Ciudad de México; Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México (SEDEMA); Programa Universitario de Medio Ambiente (PUMA 2009, Dirección General de Asuntos del Personal Académico: Proyecto PAPIIT IN219809); CONACYT; apoyo parcial del Programa de investigación en cambio climático PINCC-UNAM. Se agradece a todas aquellas personas que trabajaron para determinar los servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena: Mariana Nava, Alya Ramos, Silvia Castillo, Jaime Zúñiga, Fernando Puebla, José Luis Villarruel, Miriam Bojorge, Juan Carlos Peña, Audra Patterson y Paula Amabel Hernández. A los habitantes de la cuenca del río Magdalena y a Verónica Aguilar e Inti Burgos por su apoyo en la edición del documento y figuras.

Referencias

Almeida-Leñero, L., M. Nava, A. Ramos, *et al*. 2007. Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, D.F. *Gaceta Ecológica* 84-85:53-64.

Álvarez, K. 2000. *Geografía de la educación ambiental: algunas propuestas de trabajo en el Bosque de los Dinamos, área de conservación ecológica de la delegación Magdalena Contreras*. Tesis de licenciatura en geografía, UNAM, México.

Ávila-Akerberg, V. 2004. *Autenticidad de los bosques de la cuenca alta del río Magdalena. Diagnóstico hacia la restauración ecológica*. Tesis de maestría en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias, UNAM. México.

Ávila-Akerberg, V., B. González, M. Nava y L. Almeida-Leñero. 2008. Refugio de fitodiversidad en la ciudad de México, el caso de la cuenca del río Magdalena. *Journal of Botanical Resources Institute Texas* 2:605-619.

Bojorge, M. 2006. *Indicadores biológicos de la calidad del agua en el río Magdalena, México, D.F.* Tesis de maestría. Facultad de Ciencias. UNAM, México.

Cantoral, E., L. Almeida-Leñero, J. Cifuentes *et al*. 2009. La biodiversidad de una cuenca en la ciudad de México. *Ciencias* 94:29-33.

Cantoral, E., J. Carmona, V. Ávila, *et al*. 2010. Análisis de los patrones de la biodiversidad. En: *Manejo de ecosistemas y desarrollo humano: experiencias en la Cuenca del río Magdalena, D.F.* J. Álvarez y S. Cartillo (coords.). XVIII Congreso Mexicano de Botánica. Guadalajara, Jalisco, México.

Dobler, C. 2010. *Caracterización del clima y su relación con la distribución de la vegetación en el suroeste del D.F.* México. Tesis de licenciatura en biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México.

Facultad de Ciencias-UNAM. 2008. Reporte de investigación para el Diagnóstico sectorial de la cuenca del río Magdalena: Componente 2. Medio biofísico. En: *Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del río Magdalena*. SMA/UNAM. México.

González-Martínez, T. 2008. *Modelación hidrológica como base para el pago por servicios ambientales en la microcuenca del río Magdalena, Distrito Federal*. Tesis de maestría en gestión integrada de cuencas. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro.

Hernández-Sánchez, A.P. 2009. *Plantas medicinales y su efecto antimicrobiano: un servicio ecosistémico de la cuenca del Río Magdalena, D.F.* Tesis licenciatura en biología. Facultad de Ciencias. UNAM, México.

Hernández-Sánchez, A.P. 2012. *Distribución y nivel de infestación de* Arceuthobium vaginatum *subsp.* vaginatum *y* Arceuthobium globosum *subsp.* grandicaule *en el bosque de* Pinus hartwegii *de la cuenca del río Magdalena, México, D.F.* Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias. UNAM, México,

Jujnovsky, J., L. Almeida-Leñero, M. Bojorge, *et al*. 2010. Hydrologic ecosystem services: water quality and quantity in the Magdalena River, Mexico City. *Hidrobiológica* 20(2):113-126.

Jujnovsky, J., T.M. González, E.A. Cantoral y L. Almeida-Leñero. 2012. Assessment of Water Supply as an Ecosystem Service in a Rural-Urban Watershed in Southwestern Mexico City. *Environmental Management* 49:690-702.

Legorreta, J. 2009. Ríos, lagos y manantiales del valle de México. UAM/GDF. *Artes Impresas* Eón, México.

León, D. 2011. *Distribución espacial de las propiedades fisicoquímicas del suelo, y su relación con diferentes variables ambientales en los bosques de* Pinus hartwegii *y* Abies religiosa, *en la Cuenca del río Magdalena*. Tesis de licenciatura Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México.

MA. 2003. Ecosystem and their services. Chapter 2. En: *Ecosystems & human well-being: a framework for assessment. Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington D.C.

Martínez, M. 1979. *Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas*. FCE. México.

Monges, Y. 2009. *Calidad del agua como elemento integrador para la rehabilitación del río Magdalena, Distrito Federal*. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Instituto de Ecología, UNAM, México.

Morales-Luque, G. 2010. *Evaluación de la calidad del agua en el río Magdalena, D.F. como servicio ecosistémico*. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Nava, M. 2003. *Los bosques de la cuenca alta del río Magdalena, D.F., México. Un estudio de vegetación y fitodiversidad*. Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México.

Nava, M. 2006. *Carbono almacenado como servicio ecosistémico y criterios de restauración, en el bosque de* Abies religiosa *de la cuenca del río Magdalena,* D.F. Tesis de maestría en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias. UNAM,. México.

PUEC y UNAM. Programa Universitario de Medio Ambiente y la Universidad Nacional Autónoma de México. 2008. Propuesta de diagnóstico integrado de la cuenca del río Magdalena. En: *Plan maestro de manejo integral y aprovechamiento sustentable de la cuenca del río Magdalena.* SMA/UNAM, México.

PUMA y UNAM. Programa Universitario de Medio Ambiente y la Universidad Nacional Autónoma de México. 2009. *Sistema de indicadores para el rescate de los ríos Magdalena y Eslava*. Informe técnico de la UNAM a la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. México.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM–059–SEMARNAT–2010. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

Rzedowski, G.C. de., J. Rzedowski, *et al*. 2001. *Flora fanerogámica del valle de México*. 2a. ed. INECOL/CONABIO, Pátzcuaro (Michoacán), México.

Rzedowski, J. y G. Calderón de Rzedowski. 2005. *Flora fanerogámica del valle de México*. INECOL/CONABIO. Pátzcuaro, Michoacán. (edición digital: INECOL 2010).

Villers R. L., R.A. Flores y L. Almeida-Leñero. 2009. Impacto de los incendios forestales en las comunidades vegetales de la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal. Pp. 325-365. En: *Impacto ambiental de incendios forestales*. INIFAP. J.G. Flores (ed.). Colegio de Posgraduados/Mundi-Prensa, México

Servicios de regulación

Teresa González Martínez
Inti Burgos Hidalgo
Marisa Mazari Hiriart
Lucía Almeida Leñero
Irene Pisanty Baruch
Gerardo Suzan Azpiri
Paulina Aranda Chalé
Rafael Ávila Flores
Maria Dolores Correa Beltrán
Ana Flisser Steinbruch
Fernando Gual Sill
Julio César Herrejón Otero
Paola Martínez Duque

Los servicios de regulación son los beneficios que obtenemos de los procesos que mantienen la salud de los ecosistemas (MA 2003*a*). Si los ecosistemas se encuentran en buen estado, contribuirán a generar distintos SE como un clima estable, buena calidad del aire y del agua, flujos de agua constante sobre la superficie del suelo y a través de él, y bajas tasas de erosión del suelo. Asimismo, se mantendrán procesos naturales que benefician a los humanos como la polinización, el control de enfermedades y el control biológico de plagas (MA 2005*a*). Los procesos que contribuyen a la generación de los SE dependen de la interacción entre los factores abióticos (como el clima, el tipo de suelo y de roca) y los organismos vivos (plantas, animales, microorganismos, etc.). Algunos de estos SE otorgan beneficios indirectos o poco reconocidos, por ello a menudo se toman en cuenta hasta el momento en que se han perdido o alterado; sin embargo, son esenciales para la existencia humana en la Tierra (De Groot *et al.* 2002).

Regulación del clima

Este SE es una compleja interacción entre la atmósfera y los ecosistemas, tanto terrestres como acuáticos y marinos (Balvanera y Cotler 2009). Dichas interacciones permiten el control del flujo de gases con propiedades de retención de calor (efecto invernadero), la regulación de la cantidad de partículas y de la humedad de la atmósfera, así como de la cantidad de calor proveniente del sol que es absorbida y emitida por el planeta (Burroughs 2001, Houghton 2004, Beaumont *et al.* 2007, Bonan 2008, Fowler *et al.* 2009), siendo el conjunto de estos efectos lo que determina las condiciones climáticas (Díaz *et al.* 2005, Smith *et al.* 2011). De manera más específica, Smith y colaboradores (2011) mencionan los siguientes procesos ecosistémicos que intervienen en la regulación de clima:

- La **evapotranspiración** de suelos y plantas, que contribuye a controlar la cantidad de vapor de agua que entra en la atmósfera y a regular la formación de nubes y las propiedades de transmisión de luz y calor.
- El **albedo**, que es la proporción de radiación solar reflejada al espacio cuando incide sobre la superficie planetaria, juega un papel importante sobre la transmisión de calor a la atmósfera y al suelo, y varía dependiendo del tipo de vegetación y uso de suelo.
- La **producción de partículas suspendidas** que se generan como resultado de la producción de polen y esporas en los ecosistemas; así como de los procesos erosivos, los cuales afectan las propiedades de trasmisión de luz y calor de la atmósfera y el albedo terrestre.
- La **fotosíntesis** de las plantas que regula los niveles de bióxido de carbono, que es uno de los principales gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera.
- Los **organismos acuáticos** que sirven como

González-Martínez, T.M., I. Burgos H., M. Mazari-Hiriart, L. Almeida-Leñero, I. Pisanty, G. Suzán, P. Aranda-Chalé, R. Ávila-Flores, M.D. Correa-Beltrán, A. Flisser, F. Gual-Sill, J.C. Herrejón-Otero y P. Martínez-Duque. 2016. Servicios de regulación. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.127-201.

sumidero de carbono, principalmente en los océanos, sobre todo cuando son abundantes.

Por otra parte, la compleja interacción de los patrones de circulación de energía térmica entre la atmósfera y los factores físicos, como el ángulo de incidencia de la radiación solar (latitud), el efecto de la rotación terrestre sobre las masas de aire y de agua (efecto Coriolis), la distribución de las masas terrestres, los océanos y los cuerpos de agua, así como la topografía continental (figura 1), tienen también una función fundamental en el control del clima (Wallace y Jobs 1977, Barry y Chorley 2003, Betts *et al.* 2005, Ochoa 2009). La influencia tanto de los procesos ecosistémicos como de los factores físicos que afectan al clima puede darse en ámbitos locales, regionales o globales (cuadro 1).

En las escalas locales y regionales sobresalen las características de la vegetación de los ecosistemas terrestres para mantener las condiciones térmicas y de humedad. Aspectos como el tipo de comunidades vegetales, la superficie que abarcan y su estructura (tipo de especies, distribución y cantidad de formas de vida como hierbas, arbustos y árboles), son importantes por su efecto sobre la cantidad de radiación solar que reflejan hacia el espacio (albedo), y por lo tanto, sobre la distribución y retención de calor y agua en forma de vapor (figura 2) (House *et al.* 2005, Ochoa 2009).

En la escala global, la principal contribución de los ecosistemas terrestres a la regulación del clima, se encuentra en su capacidad de controlar la concentración de GEI como el bióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O), que son originados principalmente por la quema de combustibles fósiles y de las masas forestales. Estos gases tienen esa denominación debido a que su acumulación en la atmósfera provoca que una fracción del calor (radiación solar infrarroja)



Figura 1. El volcán Iztaccihuatl, en la sierra Nevada al oriente de la cuenca de México, sirve como barrera de eventos ciclónicos del golfo de México. Foto: Juan Pablo Abascal Aguirre/Banco de imágenes CONABIO.

Cuadro 1. Escalas climáticas, ámbitos de influencia de los factores que determinan las condiciones y efectos sobre el clima.

Escala climática	Ámbito de influencia	Factores determinantes	Repercusiones climáticas
Macroclima	Clima continental y global.	Determinado por los sistemas de circulación atmosférica a gran escala.	Variación de los gradientes de temperatura a nivel latitudinal y planetario, alteración de patrones de circulación atmosférica.
Mesoclima	Clima de una región que puede abarcar una ciudad, parte de un estado e incluso países enteros.	Definido por grandes rasgos geográficos a nivel de continentes, tales como cordilleras, desiertos, grandes planicies y cercanía con océanos. Tipo de ecosistemas con respecto a la latitud y altitud sobre el nivel del mar.	Circulación de corrientes de aire oceánico que transportan humedad a los continentes. Reducción de la variación térmica por la proximidad a océanos. La influencia de las grandes masas vegetales tiene importantes efectos sobre la regulación de la humedad y la temperatura. Variación de la exposición a la radiación solar en escalas temporales diurnas y estacionales, que ocasionan días más cortos y estaciones más marcadas hacia los polos. Descenso de la temperatura ambiental con el aumento de altitud sobre el nivel del mar.
Clima local	Clima de una localidad, claramente diferenciado de las zonas que lo rodean.	Tipo de vegetación, distribución de cuerpos de agua (ríos, lagos, costas), rasgos topográficos (valles, depresiones, montañas, etc.) y cambio de usos de suelo.	La destrucción de la vegetación natural altera los patrones de generación de humedad y de regulación térmica. La presencia de cuerpos de agua estabiliza las variaciones térmicas. Las características topográficas de los sitios determinan exposición a viento, precipitaciones, radiación solar y variaciones térmicas.
Microclima	Clima de un lugar específico, cuyas características cambian entre sitios diferentes.	Tipos de vegetación y áreas cubiertas por los mismos, tipos de suelo o superficie, orientación y pendientes del terreno.	Regulación térmica y de humedad del ambiente por las propiedades de la vegetación y los tipos de suelos, dependiendo de sus características de reflexión de luz, sus capacidades de retención de agua y transpiración. La cantidad de radiación solar que incide sobre el terreno, depende de la orientación y la pendiente.

Fuente: elboración propia con información de Ochoa 2009.

reflejado por la superficie terrestre quede atrapado, aumentando la temperatura atmosférica de manera similar a lo que ocurre en un invernadero (figura 3) (Villers-Ruíz y Trejo-Vázquez 2004). Este proceso está provocando el aumento de la temperatura global, lo que afecta la frecuencia y la distribución de la precipitación media general, y puede desencadenar eventos de lluvia intensa en algunas zonas y sequías en otras (Estrada 2001).

La regulación del clima se relaciona con varios SE de soporte, entre los cuales destacan el hábitat, el ciclo del agua y la productividad primaria. Los servicios de provisión de alimentos y agua dulce dependen en gran medida de la regulación del clima. A su vez, la regulación del clima influye sobre la regulación de la calidad del aire, los flujos de agua, la erosión y sobre el control de enfermedades humanas.

En la cuenca de México las condiciones topográficas y la presencia de grandes corrientes atmosféricas que invaden alternadamente el

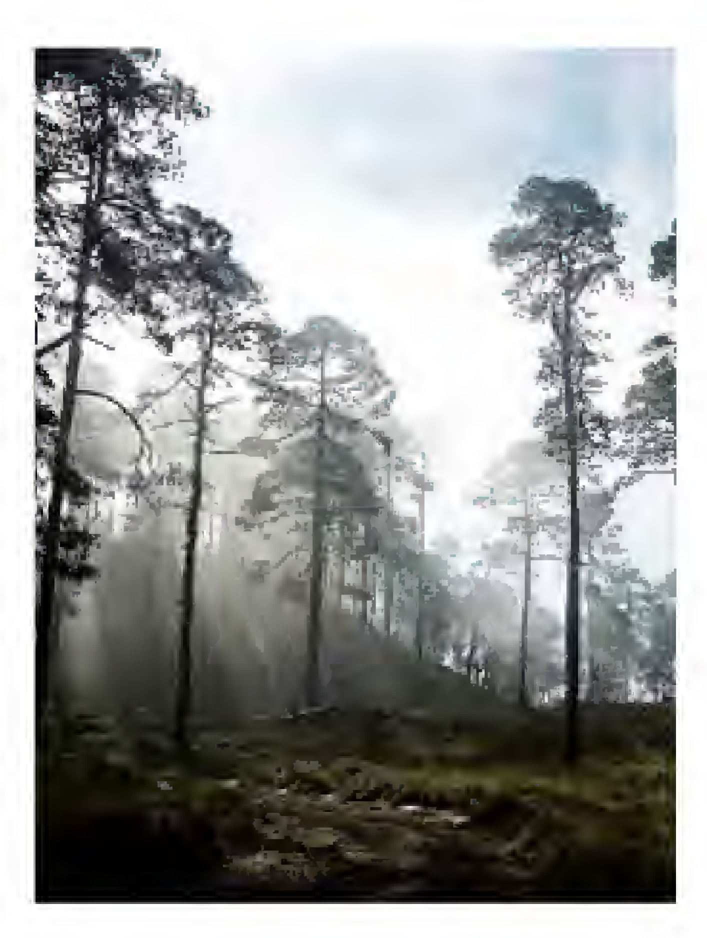


Figura 2. En un bosque de pino como el de la delegación Milpa Alta, la estructura arbórea abierta (y muchas hierbas y arbustos) se relaciona con una capacidad de retención de calor relativamente baja. Foto: Javier Hinojosa/Banco de imágenes CONABIO.



Figura 3. La principal fuente de los gases de efecto invernadero es la quema de combustibles fósiles que ocasionan el aumento de la temperatura atmosférica a nivel global. Foto: Manuel Grosselet/ Banco de imágenes CONABIO.

centro del país determinan condiciones climáticas, como la predominancia de los vientos, la temperatura y la precipitación (Jáuregui 2000). Asimismo, la presencia de vegetación (natural, agrícola y en el área urbana) influye en la regulación del clima por su efecto sobre la humedad ambiental, la fijación de gases de efecto invernadero (principalmente bióxido de carbono) y su interacción con la radiación solar (Jáuregui y Heres 2008).

En una escala regional, la estación seca del año, que se presenta durante los meses de noviembre a mayo, se caracteriza por la predominancia de vientos provenientes del oeste, asociada a cielos despejados provocados por la circulación de masas de aire con altas presiones atmosféricas (anticiclónicas) a través del centro de México. Por su parte, la estación de lluvias se caracteriza por la presencia de los vientos alisios, que soplan lentamente de noreste al suroeste, transportando humedad desde el golfo de México (Jáuregui 1989, 1995).

A escala local, los rasgos topográficos de la cuenca tienen una influencia significativa sobre la forma en la que se comportan los vientos a nivel de superficie, debido a que generan brisas de valle y de montaña dependiendo de la época del año, así como la alteración de los patrones a escala regional. Por ejemplo, la presencia de la sierra de Guadalupe (figura 4) provoca una aceleración de los vientos provenientes del noreste por el estrecho paso que forma con las otras sierras que circundan la cuenca (Jáuregui 2000). Durante los meses secos, estos vientos levantan polvo del suelo dando lugar a tolvaneras (Jáuregui 1989, Jáuregui y Luyando 1998). El mantenimiento y el aumento de áreas con vegetación en el suelo de conservación y las áreas verdes del suelo urbano pueden llegar a ejercer un efecto mitigador sobre la influencia del viento a nivel de superficie, ya que funcionan como un obstáculo que consume y desvía la energía de las corrientes de aire (Farr 2008, Jáuregui y Heres 2008, Schjetnan *et al*. 2008).

Alteraciones al régimen climático

Los cambios de uso de suelo asociados a la producción agropecuaria experimentados en la cuenca desde la época colonial, así como el proceso de urbanización que se intensificó durante el siglo XX (Jáuregui 2000), alteraron el paisaje de la ciudad de forma drástica y contribuyeron a la modificación de los regímenes climáticos en escalas locales y regionales (Jáuregui 1997).

Isla de calor

El proceso de urbanización de la ciudad en el último siglo provocó cambios en la temperatura, que en la actualidad alcanza 2°C por arriba del promedio registrado a mediados de los años setenta, y casi 4°C por encima de la temperatura media de principios del siglo XX. De este incremento en la temperatura 3°C se atribuyen al proceso de urbanización, mientras que el grado restante puede ser una consecuencia del calentamiento global o de la variabilidad climática de largo plazo (León 2007, GDF 2010).



Figura 4. Al norte de la Ciudad de México, la sierra de Guadalupe afecta significativamente los patrones de dirección de los vientos. Las flechas azules esquematizan las corrientes de vientos provenientes del noreste. Foto: Google Earth 2013.

La urbanización genera un fenómeno conocido como efecto de isla de calor (figura 5), que consiste en la concentración de aire caliente en las áreas de las ciudades más densamente construidas (Jáuregui 1995). El aumento de las superficies urbanizadas eleva significativamente la temperatura, debido a que el concreto y el pavimento absorben mucho calor durante el día y por la noche la deficiencia de circulación de viento en las áreas construidas no permite su disipación (Jáuregui 1997). En contraste, la presencia de vegetación permite la regulación térmica durante el día y la noche, debido a que mitiga los efectos de los materiales de construcción del área urbana sobre la temperatura ambiente y amortigua los cambios térmicos (Jáuregui 1990, MA 2003*b*, Díaz *et al.* 2005, Ochoa 2009).

En la ciudad, 42% de la superficie se considera urbanizada, y de esta área 20.4% está ocupada por áreas verdes urbanas (GDF 2013). Esta proporción de áreas verdes y su distribución espacialmente heterogénea en la trama urbana, es insuficiente para contrarrestar el efecto de la isla de calor (Jáuregui 1997).

La eliminación de la vegetación conduce a una reducción de la la superficie sombreada, la humedad atmosférica y la humedad del suelo. Esto puede incrementar la disponibilidad de energía para calentar el suelo y el aire (calor sensible). El consecuente incremento en la temperatura puede conducir a un ciclo de sequía (Jáuregui 2002).

Inversión térmica

Las inversiones térmicas de la cuenca de México son un fenómeno que impide el movimiento de las masas de aire debido a la diferencia en la temperatura entre la superficie y la atmósfera. La disminución de la temperatura en la zona más cercana a la superficie hace que el aire sea más denso y pesado, por lo que queda atrapado bajo una masa de aire cálido de

menor densidad (SMA 2012*a*). La topografía de la cuenca tiene una función importante en el desarrollo de las inversiones térmicas, debido a que actúa como un gran contenedor que acentúa su efecto (figura 6) (Jáuregui 2000). La vegetación puede ayudar a mitigar el efecto de las inversiones térmicas, al regular los cambios de temperatura e impedir un descenso excesivo de la temperatura en niveles cercanos al suelo, durante la temporada invernal (Jáuregui 1990, Schjetnan *et al.* 2008).



Figura 5. Esquematización del efecto de isla de calor en donde el área urbana aumenta la temperatura ocasionando la circulación de calor (flechas naranjas), contra corrientes de aire frío (flechas azules) El calor es recirculado en el mismo medio urbano (flechas rojas), debido a la conservación de calor latente en los materiales de las construcciones y a la deficiencia de circulación del viento en las áreas en las que se encuentran. Foto: modificada de Carlos Galindo Leal/ Banco de imágenes CONABIO.

Modificaciones en la intensidad y ciclos de lluvias

La incidencia de lluvias tiene un importante efecto sobre la regulación térmica atmosférica de la ciudad, porque de manera directa enfría el aire y de manera indirecta evita la incidencia directa de la radiación solar debido a la presencia de nubes (Jáuregui 2000).

La vegetación y la topografía tienen un papel relevante sobre la generación de la lluvia, lo cual se ve reflejado en el patrón de distribución de la precipitación sobre la ciudad. Al sur y sur poniente se encuentra el área montañosa y la superficie más extensa de vegetación natural de la entidad, misma que recibe las precipitaciones más altas; mientras que en el centro y el noreste, en donde hay un relieve más plano y un importante grado de urbanización, se recibe el menor volumen de precipitación (SMA 2012*a*). Ésto permite distinguir diferentes zonas climáticas y diferentes tipos de vegetación (GDF 2012).

Las características de la precipitación en la Ciudad de México se han modificado a causa de las actividades humanas. Existe una tendencia al incremento en la precipitación pluvial, que puede estar relacionado con el cambio climático global y la presencia de la mancha urbana. A partir de la década de los ochenta, la cantidad de lluvia se ha elevado 7%. Este aumento no ha sido uniforme, por ejemplo, en la zona de Tacubaya, ubicada hacia el suroeste de la ciudad, el incremento ha sido de 50% entre el año 1900 y 2006 (600 mm por año a principios del siglo XX y 900 mm por año en la actualidad) (GDF 2010), mientras que en San Juan de Aragón, ubicado al noreste, la tendencia durante el periodo 1941-1995 se mantuvo con una cantidad estable de precipitación (Jáuregui 2000).

Asimismo, la mancha urbana provoca un aumento en la cantidad de aguaceros intensos. A partir de los años sesenta se incrementó el número de eventos extremos de precipitación debido a la acelerada expansión de las superficies urbanas. El aumento en la temperatura que éstas provocan favorece el movimiento convectivo del aire, y por tanto la formación de nubes de desarrollo vertical que ocasionan tormentas y vendavales. De acuerdo a datos registrados en el observatorio de Tacubaya, entre 1977 y 1987 hubo 24 eventos de lluvia de los cuales 20 fueron mayores a 30 mm, mientras que de 2001 a 2009 se registraron poco más de 40 eventos (Conde *et al.* 2010).

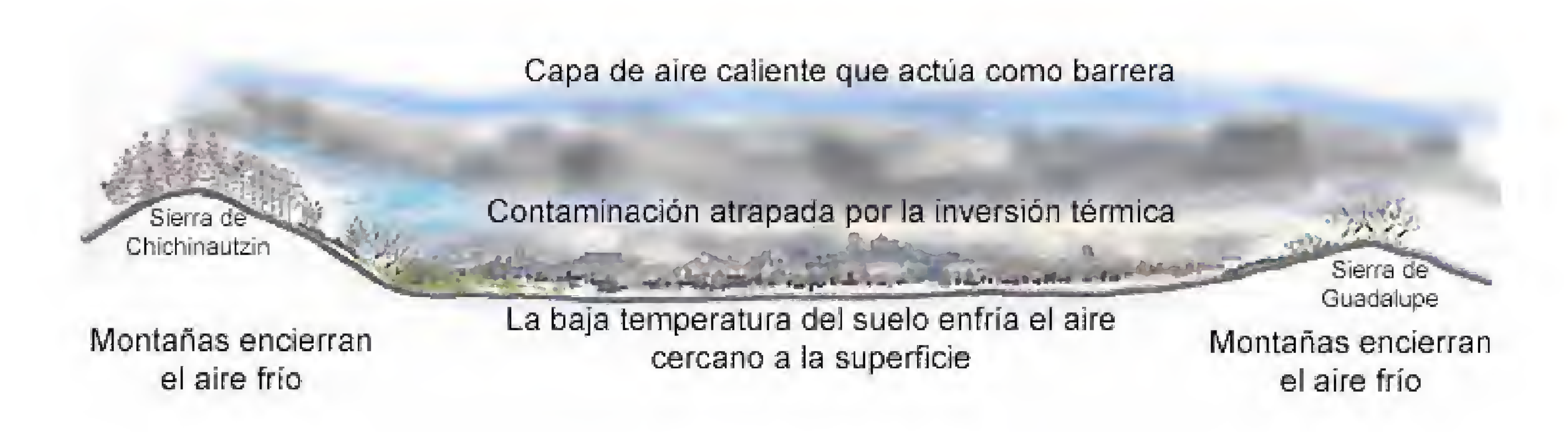


Figura 6. El fenómeno de inversión térmica en la cuenca de México, a través de un corte de sur a norte. Fuente: Laboratorio de Ecosistemas de Montaña, Facultad de Ciencias, UNAM 2013.

Efectos a escala global: gases de efecto invernadero

Las actividades que realizan los habitantes en la ciudad contribuyen a la modificación climática a escala global, debido a la emisión de GEI. En la entidad, la principal fuente de emisiones proviene de la quema de combustibles fósiles. De acuerdo con los datos obtenidos por el Registro de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, en la Ciudad de México durante 2010 se liberaron un total de 36 millones de toneladas de CO_2 toneladas de GEI, medidas como CO_2 equivalente. De las cuales 45.5% fueron generadas por transporte público y privado, 18.5% por disposición de residuos y 17.3% por la industria, mientras que el remanente se dividió entre los sectores residencial, comercial e industrial de la edificación (SMA 2012*b*).

Una tonelada de CO_2 equivalente es una unidad de medida que permite comparar las emisiones de los tres principales gases de efecto invernadero, en donde la unidad es la capacidad potencial de retención de calor del CO_2 (=1), mientras que para el metano es de 25 y para el óxido nitroso 298. Estos valores significan que dichos gases tienen 25 y 298 veces más capacidad de retención de calor que el CO_2, respectivamente (SMA 2012*a*). De los 36 millones de toneladas de CO_2 equivalente que se emitieron en la ciudad durante el 2010, 28.7 millones fueron de CO_2 (79.7%), 6.5 millones de metano (18.2%) y 756 mil de óxido nitroso (2.1%) (SMA 2012*c*).

La vegetación tiene un papel importante en la mitigación del calentamiento global, ya que captura el CO_2 atmosférico y lo almacena en sus tejidos. De acuerdo a los datos de la PAOT e INIFAP (2010), en la ciudad el mayor contenido de carbono almacenado en la parte superficial de las plantas por hectárea, se presentan en los bosques de oyamel (*Abies religiosa*), de pino (*Pinus hartwegii*), los mixtos (encino -*Quercus* sp.-, cedro -*Cupressus* sp.-, aile -*Alnus* sp.-, *fresno* -*Fraxinus* sp.-, etc.) y los inducidos (cedro, eucalipto, frutales y demás especies introducidas). En el cuadro 2 se incluye el CO_2 almacenado por hectárea, que forma parte de los troncos, ramas y hojas en cada tipo de vegetación.

Por su parte, las áreas de vegetación nativa cubiertas por matorrales y pastizales nativos presentan los valores más bajos de captura de GEI, al igual que los suelos agrícolas. Considerando todas las comunidades vegetales, el contenido total de carbono almacenado en el SC es de 2 209 522.53 t, y la mayor cantidad corresponde al bosque de oyamel aunque ocupa una superficie reducida (figura 7) (PAOT e INIFAP 2010).

La regulación del clima es un proceso que depende conjuntamente de la interacción de todos los factores y componentes de los ecosistemas, por lo que este SE se asocia con sitios

Cuadro 2. Contenido de carbono almacenado en diferentes comunidades vegetales de la Ciudad de México.

Comunidad vegetal	Capacidad de almacenamiento (ton/ha)
Bosque de oyamel (*Abies religiosa*)	93.41
Bosque de pino (*Pinus hartwegii*)	46.96
Bosque mixto	47.92
Bosques inducidos	28.27
Matorrales y pastizales	7.62
Agricultura	1.36

Fuente: elaboracipon propia con información de PAOT e INIFAP 2010.

conservados. Son especialmente importantes las masas forestales ubicadas en la región Bosques y Cañadas, en la región Humedales de Xochimilco y Tláhuac, así como las áreas verdes del suelo urbano de la región Parques y Jardines.

Conclusión

Uno de los principales elementos que contribuyen a la regulación climática local es la vegetación, al mantener las condiciones de confort en las áreas urbanas, lo que resulta esencial para el funcionamiento de la Ciudad de México. Actualmente, la emisión de GEI es una de las principales amenazas en la regulación climática, debido a que estos gases (derivados principalmente de las actividades de transporte) tienen una alta capacidad de retener calor. Los bosques mixtos y de coníferas tienen un papel importante en la captura y almacenamiento de carbono, además de disminuir la radiación que se refleja a la atmósfera. El proceso de urbanización altera drásticamente la superficie del suelo y genera microclimas que distan mucho de los encontrados en los ecosistemas naturales. Se afectan principalmente los patrones naturales del viento, las temperatura y lluvia.

De no proteger la generación del SE de regulación del clima a través de la conservación de la vegetación, se corre el riesgo de generar condiciones poco apropiadas para el mantenimiento de la calidad de vida de los habitantes de la ciudad. Por último, la ciudad tiene la ventaja de encontrarse en un área con una alta diversidad biológica, lo cual le significa un gran número de posibilidades para el planteamiento de soluciones que involucren el mantenimiento de los ecosistemas.

Regulación de la calidad del aire

La calidad del aire en la ciudad está determinada por el balance que existe entre las emisiones contaminantes liberadas al aire y la capacidad de la región para eliminar, dispersar o concentrar dichos contaminantes (SMA 2012*d*).

El SE de regulación de la calidad del aire consiste en la capacidad de los ecosistemas para mantener la calidad del aire, principalmente mediante la extracción de contaminantes atmosféricos (MA 2003*b*). Los contaminantes que se encuentran en estado gaseoso, se absorben de manera individual por las plantas a través de los estomas (estructuras de las hojas que permiten la entrada y salida de gases), ya sea con la entrada de bióxido de carbono (CO_2) durante el proceso de fotosíntesis, o con el oxígeno (O_2) en la respiración. Después de entrar en la planta, los contaminantes se difunden en los espacios intercelulares y pueden reaccionar con el agua para formar ácidos o ser incorporados a los tejidos (Chen y Yim 2008).

La vegetación (entendida como el conjunto de plantas que habitan en una región) también puede eliminar contaminantes presentes en el aire en forma de partículas sólidas mediante su deposición. Este es un proceso mecánico que ocurre cuando dichos contaminantes se

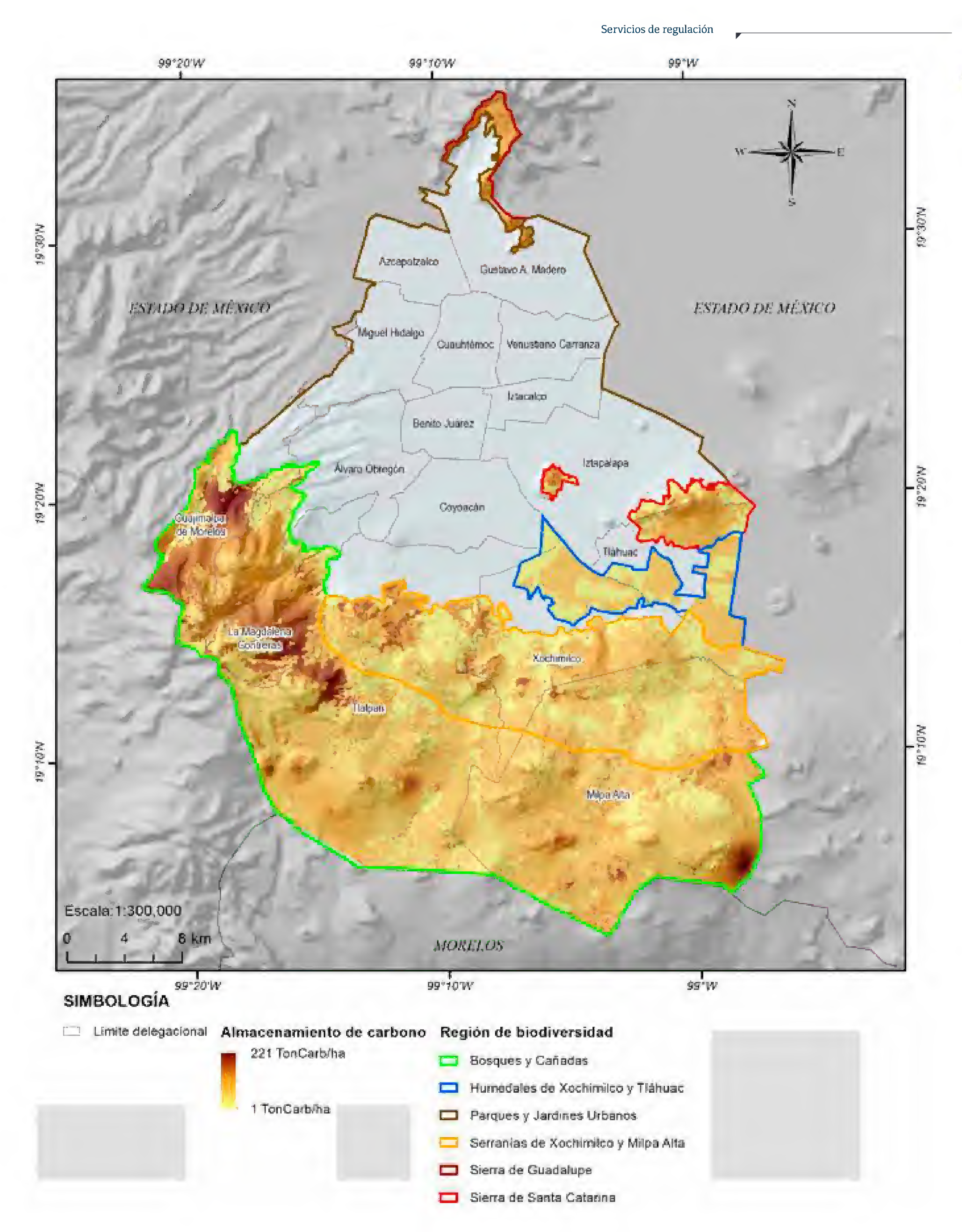


Figura 7. Distribución de la capacidad de captura de carbono dentro del suelo de conservación. Fuente: PAOT e INIFAP 2010.

depositan en las hojas, las ramas y los tallos, especialmente si presentan superficies rugosas o pubescentes (pelillos que dan una textura aterciopelada o áspera). Las copas de los árboles urbanos (figura 8) son eficaces en la captura de partículas. Esto se debe a que los árboles situados en espacios abiertos provocan una mayor turbulencia en las corrientes de aire, induciendo el impacto de las partículas sobre las copas (Chen y Yim 2008). Muy pocas partículas pueden absorberse por las hojas de las plantas, la mayoría son retenidas en su superficie de manera temporal, hasta que son lavadas por la lluvia, arrastradas nuevamente por el viento, o caen al suelo junto con las hojas y las ramas (Nowak y Dwyer 2007).

Adicionalmente, la vegetación protege al suelo del efecto mecánico de la lluvia y el viento, minimizando así la erosión y la consecuente producción de polvo, que es un factor que altera la calidad del aire (Escobedo y Chacalo 2008).

Este servicio depende de distintos factores como el tipo de vegetación y la superficie que ocupa, así como de las especies de plantas, el tamaño de las copas, la cantidad de hojas, el tipo y características de los contaminantes, las condiciones meteorológicas locales y la ubicación de la vegetación con relación a las fuentes de origen de los contaminantes (Nowak y Dwyer 2007, Chen y Yim 2008).

La generación de este SE se relaciona con la existencia de otros servicios como la productividad primaria, los ciclos biogeoquímicos, la regulación del clima y el control de la erosión. Asimismo, influye en la generación de otros servicios como hábitat, regulación de la calidad del agua, control de enfermedades humanas y la belleza escénica.

Los principales contaminantes atmosféricos perjudiciales para la salud presentes en la Ciudad de México son dióxido de nitrógeno (NO_2), partículas suspendidas (menores a 10 y 2.5 micrómetros), dióxido de azufre (SO_2), monóxido



Figura 8. Árboles urbanos en una glorieta de la calle Dr. Vértiz. Sus copas retienen partículas, por lo que se limpia el ambiente. Foto: Inti Burgos 2013.

Cuadro 3. Características y fuentes de origen de los principales contaminantes en la Ciudad de México.

Contaminante	Características	Principales fuentes
Dióxido de nitrógeno (NO_2)	Gas rojo pajizo, de olor irritante. Reacciona fácilmente con el agua produciendo ácido nítrico y óxido nítrico.	Vehículos automotores. Fabricación de productos a base de minerales no metálicos. Generación de energía eléctrica. Reacción entre el nitrógeno y oxígeno atmosféricos durante tormentas eléctricas.
Partículas suspendidas menores a 10 micrómetros (PM_{10})	Material sólido o líquido que es capaz de permanecer en suspensión en el aire por medios físicos o mecánicos. Se nombran de acuerdo a su tamaño.	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos y textiles. Actividad vehicular sobre vialidades pavimentadas y sin pavimentar. Actividades agrícolas.
Partículas suspendidas menores a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$)		Motores de tractocamiones. Vialidades sin pavimentar. Combustión de diésel, combustóleo y carbón. Procesos fotoquímicos que ocurren en la atmósfera.
Dióxido de azufre (SO_2)	Gas incoloro, de olor irritante y soluble en agua.	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos, industria química y del papel. Combustión de combustibles que contienen azufre como la gasolina, el carbón y el diésel. Actividades de las aeronaves.
Monóxido de carbono (CO)	Gas inodoro, incoloro e insípido, poco soluble en agua.	Combustión incompleta de combustibles en los motores de vehículos automotores. Incendios forestales. Quemas agrícolas.
Ozono (O_3)	Gas incoloro de olor penetrante, altamente oxidante e inestable en altas concentraciones.	Existe de manera natural en la tropósfera, sin embargo, se le considera un contaminante cuando su concentración representa un riesgo para la salud humana. Resulta de complejas reacciones químicas, que ocurren cuando la luz ultravioleta del sol actúa sobre los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos emitidos a la atmósfera.
Compuestos orgánicos totales (COT)	Gases orgánicos como el metano y el etano, así como compuestos orgánicos volátiles que participan en la formación de ozono.	Degradación de residuos sólidos (basura), principalmente en rellenos sanitarios. Tratamiento de aguas residuales. Fuentes móviles (autotransportes). Uso de solventes. Sector habitacional.
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	Compuestos pertenecientes a las familias químicas de los alcanos (parafinas), alquenos (olefinas), alquinos, compuestos aromáticos y halogenados.	Autos particulares y motocicletas. Emisiones generadas por árboles, plantas y cultivos. Industria química. Combustión ineficiente de estufas y calentadores de agua. Uso de solventes.
Amoniaco (NH_3)	Gas incoloro de olor muy penetrante, muy soluble en agua.	Transpiración humana. Excretas de animales domésticos (vacas, puercos, cabras, pollos, etc.).

Fuente: SMA 2006, SMA 2012*a*, *d*.

de carbono (CO), ozono (O_3), compuestos orgánicos totales (COT), compuestos orgánicos volátiles (COV) y amoniaco (NH_3) (SMA 2012*a*). La mayoría se encuentran en estado gaseoso, pero también hay partículas sólidas y líquidas. Son originados principalmente por el tránsito vehicular que genera grandes cantidades de emisiones, así como por las actividades industriales, domiciliarias y por los incendios, entre otras (cuadro 3) (SMA 2012*a*).

También existe un grupo de compuestos químicos altamente nocivos para la salud humana, conocidos como contaminantes tóxicos del aire. Esta categoría agrupa a muy diversas sustancias. En la ciudad se tienen registros de 137 contaminantes tóxicos distintos, tales como benceno, tolueno y xileno (que forman parte de los compuestos orgánicos); amoniaco y cloro

(compuestos gaseosos no orgánicos), y plomo, cromo y cadmio (metales pesados). Los contaminantes tóxicos se generan principalmente por las emisiones de los vehículos, así como por las actividades que utilizan solventes o productos que los contienen (SMA 2012*e*). Estos contaminantes atmosféricos suelen concentrarse en la Ciudad de México, debido a que existe una dispersión ineficiente producto de las características fisiográficas y climaticas de la cuenca de México (SMA 2006), como:

- Estár rodeada por montañas elevadas, que constituyen una barrera natural que dificulta la libre circulación del viento y la dispersión de los contaminantes.
- Frecuentemente ocurren inversiones térmicas en la cuenca (ver "Regulación del Clima" en esta sección). El cambio en la dinámica de temperaturas a lo largo del día inhibe la capacidad de autodepuración del aire, entre otros efectos. Esta situación perdura hasta que la atmósfera se calienta con la radiación solar, al avanzar el día; posteriormente los contaminantes se dispersan junto con el aire. El tiempo de dispersión depende tanto de las condiciones atmosféricas como de la cantidad de contaminantes.
- Por la posición continental de México, que se ubica entre dos océanos, son frecuentes los sistemas anticiclónicos (áreas de alta presión, donde el aire desciende de cierta altura por ser frío y seco, debido a que es más pesado que el cálido y húmedo). Estos sistemas tienen la capacidad de generar grandes masas de aire inmóvil en áreas que pueden abarcar regiones mucho mayores que la cuenca de México. Esta estabilidad de las masas de aire impide la dispersión de los contaminantes.
- Existe una intensa radiación solar a lo largo de todo el año, favoreciendo la formación del ozono, el cual es uno de los principales contaminantes atmosféricos.

Durante la década de los ochenta en la Ciudad de México se hizo evidente el deterioro de la calidad del aire llegando a niveles graves, por el aumento en la emisión de contaminantes y la baja capacidad de dispersión de los mismos. En ese momento se reconoció que estas condiciones comprometían seriamente la salud y la calidad de vida de sus habitantes. En 1986 el problema alcanzó tal severidad que la entidad fue clasificada como la ciudad más contaminada del planeta (SMA 2012*a*), categoría que conservó durante mucho tiempo.

La gasolina presentaba un alto contenido de plomo, que era el contaminante más dañino en la atmósfera debido a sus efectos sobre el sistema nervioso (Salazar *et al*. 1981), por lo que fue necesaria la transición a nuevas fórmulas de gasolina. Si bien la eliminación del plomo era una necesidad impostergable por el daño en la salud humana, su eliminación estuvo acompañada de un crecimiento exponencial de otro tipo de contaminantes que no permitieron una mejora real en la calidad del aire (Bravo *et al*. 1992). El cambio en la gasolina conllevó un incremento muy severo de ozono en las capas bajas de la atmósfera, debido a que la combustión de la gasolina sin plomo es menos completa que la gasolina con plomo, (Riveros 1995, Riveros *et al*. 1995).

Los factores que inciden negativamente en la calidad del aire se han agravado con el paso del tiempo. Entre ellos, destacan el aumento de la población, la necesidad de transporte, el incremento del parque vehicular y del consumo energético. Ante este panorama, se han realizado esfuerzos para tratar de mejorar la calidad del aire. Los combustibles han mejorado (reducción del contenido de azufre y plomo), se ha fomentado el uso del gas natural y las tecnologías vehiculares modernas. Asimismo, se implementarion y modernizaron los programas gubernamentales como "Hoy no circula", "Programa integral de reducción de contaminantes" y "Programa de verificación vehicular" (SMA 2012*d*), cuyos resultados requieren de una revisión a fondo.

Las acciones realizadas consiguieron reducir las concentraciones medias anuales de los

principales contaminantes de la ciudad, lo que propició una mejora en la calidad del aire (cuadro 4) (SMA 2012*f, g*). Los cambios más importantes, tanto de emisiones como de concentraciones atmosféricas de contaminantes ocurrieron durante la década de los noventa (SMA 2012*d*), aunque el problema sigue siendo muy serio.

De acuerdo con datos recientes, las emisiones de contaminantes más abundantes son de monóxido de carbono, con cerca de 722 mil toneladas anuales; compuestos orgánicos totales con 256 298 ton, y compuestos orgánicos volátiles con 212 392 ton (SMA 2012*d*). Sin embargo, los principales problemas con la calidad del aire se relacionan con altas concentraciones de ozono y partículas suspendidas menores a 10 y 2.5 micrómetros, ya que suelen rebasar los límites establecidos en la normatividad vigente en repetidas ocasiones a lo largo del año (INE 2011).

Con base en la norma oficial mexicana NOM 020 (SS 1993*a*), que establece los criterios para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al ozono, la concentración de este contaminante debe ser, en promedio, igual o inferior a 110 ppb cada hora. No obstante, en ciudad frecuentemente se registran valores por encima de esta cifra, como sucedió durante 2011, año en el que se rebasó en 449 ocasiones la norma y se registró un valor máximo de 184 ppb (SMA 2012*a*). La NOM 025 (SS 1993*b*), que define los criterios para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto a partículas suspendidas, establece concentraciones máximas anuales de 50 y 15 µg/m^3 para las partículas menores a 10 y 2.5 micrómetros, respectivamente. Estos valores fueron superados en el 2011, con concentraciones de hasta 93.4 µg/m^3 de partículas menores a 10 micrómetros y 24.8 µg/m^3 de partículas menores a 2.5 micrómetros (SMA 2012*a*).

La calidad del aire en la ciudad tiene un comportamiento variable a lo largo del año, debido a que se encuentra influenciada por factores como el clima prevaleciente en cada estacion del año, la intensidad del tráfico vehicular, la actividad industrial y la construcción de obras urbanas (SMA 2006).

En la entidad se usa el Índice Metropolitano de Calidad del Aire (IMECA), el cual asocia la medida de la calidad del aire, la contaminación y el riesgo para la salud humana. Al aplicar este índice es posible observar que en la ciudad la calidad del aire representa un alto riesgo para la salud durante gran parte del año. Por ejemplo, en el año 2011 solo se consideraron cinco días con buena calidad, mientras que 241 días presentaron de mala a muy mala calidad (figura 9), lapso en el que se recomendó evitar las actividades al aire libre como medida precautoria (SMA 2012*a*).

El aire limpio es un elemento básico para mantener la salud y el bienestar de los seres vivos. Por ello, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció valores guía para los

Cuadro 4. Valores medios anuales de los principales contaminantes atmosféricos.

Año	Ozono (ppm)	Óxidos de nitrógeno (ppm)	Dióxido de azufre (ppm)	Monóxido de carbono (ppm)	Partículas suspendidas <10 micrómetros (µg/m^3)	Partículas suspendidas <2.5 micrómetros (µg/m^3)	Plomo en partículas suspendidas totales (µg/m^3)
1986	0.033	0.081	0.044	4.17	SD	SD	1.31
1996	0.041	0.070	0.016	2.66	74	SD	0.87
2006	0.029	0.059	0.007	1.24	52	27	3.79
2010	0.027	0.054	0.006	1.01	51	23	0.03

SD: Sin datos. Fuente: elaboración propia con informacipon de SMA 2012 *e,f*.

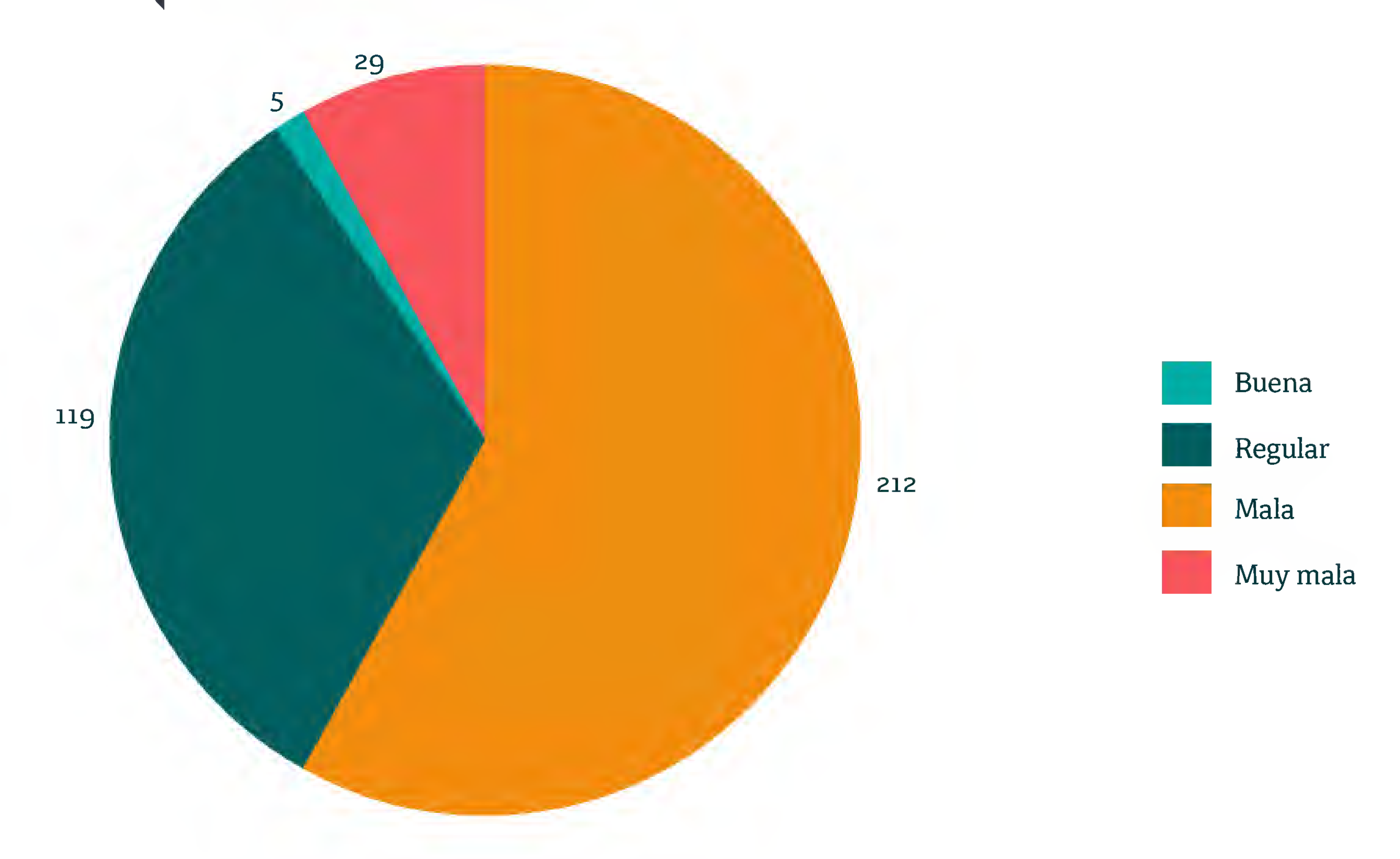


Figura 9. Número de días registrados para cada categoría del IMECA durante 2011. Fuente: SMA 2012*a*.

principales contaminantes encontrados en las ciudades modernas, que determinan los límites sobre los cuales pueden existir efectos en la salud (OMS 2006). Los estudios epidemiológicos demuestran que la exposición a diferentes contaminantes ambientales, incluso a niveles por debajo de las normas internacionales, se asocian con un incremento en la incidencia de asma, en el deterioro de la función pulmonar, así como en una mayor gravedad de las enfermedades respiratorias de niños y adolescentes (Romero *et al*. 2006). En la ciudad se sobrepasan severamente los valores recomendados por la OMS para muchos de los contaminantes, aunque el monóxido de carbono es una excepción, pues sí se ha mantenido en niveles aceptables.

Aproximadamente, 8.85 millones de habitantes (INEGI 2010) viven expuestos a una muy mala calidad de aire (figura 10), lo cual puede afectar seriamente su salud. Las delegaciones que presentan mayores concentraciones de contaminantes en el aire son Venustiano Carranza, Cuauhtémoc y Gustavo A. Madero (cuadro 5) (SMA 2012*a*).

La vegetación contribuye a absorber los contaminantes atmosféricos que se encuentran en estado gaseoso y a capturar partículas suspendidas mediante la deposición temporal en sus estructuras. En la ciudad se cuenta con 37 452 ha de bosques templados, 13 352 ha de pastizales y 4 175 ha de matorrales (GDF 2012). Además, hay 11 290 ha ocupadas por áreas verdes urbanas (parques, jardines, jardineras, glorietas, zonas deportivas), entre las que sólo 7 810 ha están arboladas (12.8% de la superficie total urbana) y 3 480 ha tienen pastos y arbustos (5.7% del área urbana) (PAOT 2010). A pesar de la importancia que tiene la vegetación sobre la calidad del aire, existe muy poca información en la ciudad sobre



Figura 10. Vista panorámica de la ciudad y su pobre calidad del aire. Foto: Inti Burgos 2012.

Cuadro 5. Daños por exposición a los principales contaminantes, valores guía de la OMS, concentraciones en 2011 para la ciudad, y delegaciones más afectadas.

Contaminante	Daños por exposición a niveles altos	Valor guía OMS (µg/m³)	Concentración 2011 (µg/m³)	Delegaciones más afectadas
Dióxido de nitrógeno (NO_2)	Irritación de las vías respiratorias. En altas concentraciones puede provocar bronquitis y pulmonía.	40 *	53 *	Gustavo A. Madero, Azcapotzalco, Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc y Venustiano Carranza
Partículas suspendidas menores a 10 micrómetros (PM_{10})	Agravan el asma y enfermedades respiratorias y cardiovasculares. La exposición crónica a altas concentraciones puede provocar un incremento en el riesgo de morbilidad y mortalidad.	20 *	93 *	Gustavo A. Madero, Venustiano Carranza y Cuauhtémoc
Partículas suspendidas menores a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$)	Aumenta el riesgo de mortalidad por cáncer pulmonar y enfermedades cardiopulmonares. Agravación del asma, aumento de los síntomas respiratorios, como tos y respiración difícil o dolorosa, bronquitis crónica y reducción de la función pulmonar.	10 *	25 *	Venustiano Carranza, Cuauhtémoc, Iztacalco, Iztapalapa, Benito Juárez, Gustavo A. Madero, Azcapotzalco
Dióxido de azufre (SO_2)	Irritación de vías respiratorias, en altas concentraciones provoca bronco-constricción, bronquitis y traqueítis. Puede agravar enfermedades respiratorias y cardiovasculares.	20 **	168 **	Gustavo A. Madero, Azcapotzalco, Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc y Venustiano Carranza
Monóxido de carbono (CO)	En altas concentraciones inhabilita el transporte de oxígeno hacia las células. Una exposición prolongada puede provocar mareos, dolor de cabeza, náuseas, estados de inconsciencia e inclusive la muerte.	30 000 +	7 898+	Iztapalapa, Iztacalco, Venustiano Carranza, Cuauhtémoc, Benito Juárez, Miguel Hidalgo, Azcapotzalco y Gustavo A. Madero
Ozono (O_3)	Irrita las vías respiratorias. En altas concentraciones reduce la función pulmonar, agrava el asma, inflama las células que recubren los pulmones, agrava las enfermedades pulmonares crónicas.	100 ++	212 ++	Coyoacán, Tlalpan, Benito Juárez, Xochimilco, Álvaro Obregón e Iztapalapa

*Promedio anual, ** Máximo en 24 horas, + Máximo en 1 hora, ++ Máximo promedio en 8 horas. Fuente: elaboración propia con información de Zuk *et al.* 2007, SMA 2012*a* y SMA 2012*d*.

los mecanismos y la capacidad de dicha vegetación para mejorar la calidad del aire.

La capacidad de descontaminar la atmosfera por parte del arbolado urbano de la capital fue modelada por Escobedo y Chacalo (2008), para dos de los principales contaminantes del aire en esta entidad, que son partículas suspendidas mayores a 10 micrómetros y ozono. Los resultados muestran que cuando hay presencia de vegetación, los niveles de estos contaminantes disminuyen 26% (cuadro 6).

El estudio de Fenn *et al.* (1999) realizado al sur-poniente de la ciudad, en los bosques de pino del parque nacional Desierto de los Leones (figura 11), puso de manifiesto que existen grandes cantidades de contaminantes que son depositados en esa zona. La aportación anual de nitrógeno inorgánico (en forma de amonio (NH_4^+) y nitratos (NO_3) y azufre (en forma sulfatos (SO_4^{2-}) que se incorpora al bosque por medio del proceso de deposición, es de 18.5 y 20.4 kg/ha, respectivamente; estos valores podrían estar siendo subestimados en 20 a 40%, debido a que se consideró un valor conservador en la capacidad de retención de contaminantes en las copas de los árboles. Los resultados son considerablemente más altos que en otras partes del mundo, lo cual se explica por las numerosas emisiones de óxidos de nitrógeno y azufre que se producen en la ciudad que viajan a esa zona con las corrientes de aire.

En el mismo estudio también se encontró que existe una mayor cantidad de nitrógeno

Cuadro 6. Capacidad de descontaminación de partículas suspendidas mayores a 10 micrómetros (PM_{10}) y ozono (O_3) durante el año 2000.

Contaminante	Flujo promedio anual del contaminante (ton)	Descontaminación promedio anual (ton)	% de descontaminación respecto al total
PM10	8 288	2 161	26
O3	7 104	1 863	26

Fuente: elaboración propia con información de Escobedo y Chacalo 2008.

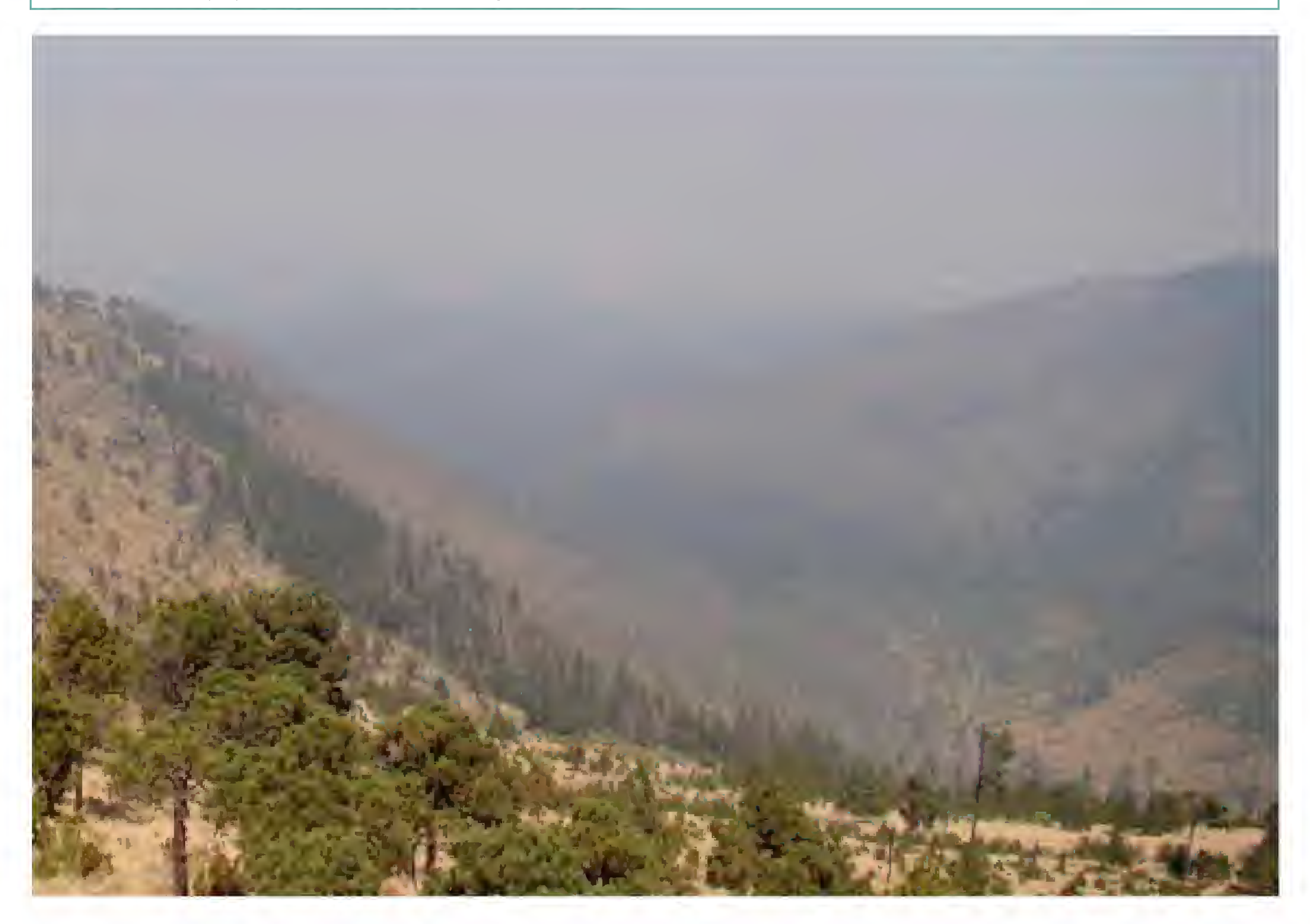


Figura 11. Vista panorámica del parque nacional Desierto de los Leones. Al fondo se observa parte de la Ciudad de México, de la cual el parque recibe una gran cantidad de contaminantes atmosféricos. Foto: Inti Burgos 2010.

almacenado en el suelo, formando parte de los tejidos del follaje, y disuelto en los arroyos que atraviesan el área de estudio, en comparación con otros bosques que están menos expuestos a la contaminación. Estos resultados apoyan la hipótesis de que las deposiciones de nitrógeno han aumentado la disponibilidad de este elemento en este bosque, superando la capacidad de retención a través de mecanismos abióticos como la mineralización; o por su adsorción por parte de los microorganismos del suelo y la vegetación, dando lugar a la exportación del exceso, en forma de nitratos, a través de los arroyos. Por tanto, es indicador de que ya se superó la capacidad de los ecosistemas de la Ciudad de México para generar el servicio de regulación de la calidad del aire (Fenn *et al.* 1999) y que repercute de manera indirecta en el servicio de calidad de agua (Wetzel 2001).

En esa misma zona (parque nacional Desierto de los Leones), Pérez-Suárez *et al.* (2008) analizaron la contribución de distintos tipos de vegetación a la deposición de contaminantes, y encontraron que los bosques de oyamel son más eficientes para realizar este proceso que los bosques de pino, mientras que las zonas desprovistas de vegetación arbórea son mucho

Cuadro 7. Parámetros fisicoquímicos en el escurrimiento foliar y lluvia del parque nacional Desierto de los Leones. NA: no aplica.

	pH	NO_3^-	NH_4^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+
Tipo de muestra de agua	adimensional						
Lluvia	5.22	2.04	0.87	2.08	0.81	0.23	0.20
Escurrimiento foliar en bosque de pino	4.93	3.01	0.66	3.24	1.62	0.25	1.62
Escurrimiento foliar en bosque de oyamel	5.23	8.68	1.09	6.17	3.74	0.57	5.76

Fuente: elaboración propia con información de Pérez-Suárez *et al.* 2008.

menos eficientes. Estas diferencias se explican principalmente por el tamaño de la copa de los árboles y la cantidad de follaje que presentan. Los oyameles tienen una mayor superficie de deposición de contaminantes, gracias a que presentan un índice de área foliar (IAF) de 2.85, el cual es más alto que en los pinos (1.43), y mucho mayor que las áreas desprovistas de vegetación arbórea. Durante el periodo en que se realizó el estudio (aproximadamente tres meses), la carga de nitratos (NO_3) proveniente del escurrimiento foliar (lluvia que escurre a través de las copas de los árboles) fue de 5.56 y 1.11 kg/ha para oyameles y pinos respectivamente. La carga de sulfatos (SO_4^{2-}) fue de 4.98 kg/ha para los oyameles y de 2.36 kg/ha para pinos. Para el caso del amonio (NH_4^+), los valores fueron negativos debido al consumo de nitrógeno por parte del follaje. La deposición de calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}) y potasio (K^+) fue mayor en oyamel, intermedia en pino y baja en áreas abiertas (cuadro 7).

Otro indicador que muestra el papel regulador de la concentración de contaminantes en el aire por parte de la vegetación es el contenido de metales pesados en los tejidos de las plantas, en particular en los líquenes. Fenn *et al.* (2002), encontraron una elevada concentración de estos elementos en distintos grupos vegetales del parque nacional Desierto de los Leones (cuadro 8), que superó por mucho los niveles existentes en otras zonas menos expuestas a contaminantes atmosféricos. Este tipo de contaminantes atmosféricos se genera principalmente por la quema de combustibles y de procesos industriales, y a pesar de que representan un porcentaje muy pequeño del total de las emisiones que se generan en la ciudad, son dañinos a la salud humana (SMA 2012*e*), por lo que su captación por parte de la vegetación es importante.

Las elevadas concentraciones de contaminantes que se producen en la entidad afectan las zonas boscosas y las áreas verdes urbanas (Fenn *et al.* 2002). Los vientos transportan los contaminantes de la zona urbana hacia el sur-suroeste (figura 12), creando condiciones que favorecen la alta exposición a la contaminación de los bosques del SC (Jáuregui 2002).

Los contaminantes que tienen alto potencial de impacto en las plantas y en las funciones ecosistémicas de los bosques son el ozono, los óxidos de nitrógeno, los nitratos, el vapor de ácido nítrico, el cloro, el dióxido de azufre,los metales pesados, el amonio y los componentes orgánicos volátiles (Fenn *et al.* 2002). Entre los daños están la afectación severa a la superficie foliar como la necrosis, clorosis, bronceado y plateado de las hojas, pigmentación y enanismo (Treshow 1965), así como disminución del crecimiento y productividad de las especies (Fenn *et al.* 2002). La situación puede alcanzar niveles en los que se disminuya drásticamente la capacidad de los ecosistemas para brindar éste y otros SE.

Cuadro 8. Contenido de metales pesados en tejidos de plantas del parque nacional Desierto de los Leones.

Metales pesados (ppm)	Líquenes	Pino (*P. hartwegii*)	Pasto (*Mühlenbergia* sp.)	Otras plantas
Pb	39.4	6.1	ND	ND
Cd	0.9	0.08	0.26 - 0.28	ND
Zn	327 - 1 827	37 - 45	ND	ND
Cu	15.3	0.7 - 34	ND	15 – 25
Fe	1 788	53 - 256	178 - 324	60 - 1 500

Fuente: elaboración propia con información de Fenn *et al*. 2002.



Figura 12. Ladera norte de la sierra de Chichinautzin a donde los vientos transportan contaminantes de la zona urbana, por lo que queda expuesta a la contaminación.

Conclusión

En la Ciudad de Mexico se emite una enorme cantidad de contaminantes atmosféricos derivados de distintas actividades, entre las que destaca el uso de autotransportes. Esta situación asociada con la baja capacidad de dispersión de los mismos, ha deteriorado gravemente la calidad del aire, sometiendo a los habitantes a concentraciones de contaminantes consideradas peligrosas para la salud humana. Al considerar las condiciones de la calidad del aire y sus implicaciones para el bienestar de la población de la ciudad, este es uno de los SE más relevantes para la entidad.

Más allá del limitado conocimiento que existe sobre la dinámica de dispersión de contaminantes, se sabe muy poco sobre la capacidad de los ecosistemas para mejorar la calidad del aire. Sin embargo, los datos existentes su-

brayan la importancia de la vegetación en los procesos de absorción y deposición de contaminantes, para mejorar la calidad del aire. Son especialmente importantes las zonas arboladas tanto urbanas y periurbanas, como el SC, por lo cual es necesario incrementar su área y garantizar su conservación.

Regulación de la calidad del agua

El SE de regulación de la calidad del agua es el producto de diversas interacciones físicas, químicas y biológicas que se dan en los ecosistemas acuáticos y terrestres (Balvanera y Cotler 2009). Los procesos ecosistémicos como el filtrado, la degradación y la dilución de contaminantes inorgánicos u orgánicos, así como la presencia de organismos benéficos en el agua, dan como resultado agua de buena calidad (figura 13). Sin embargo, el derrame de cantidades excesivas de contaminantes y los cambios en los ecosistemas como la pérdida de la cobertura vegetal por la desaparición de bosques, humedales y otros ecosistemas, tanto por causas naturales como por las actividades humanas, merman la calidad y capacidad para proveer este servicio (Vörösmarty *et al*. 2005).

Este SE está relacionado directamente con la existencia de otros servicios como son: el ciclo hidrológico, la productividad primaria, la regu-



Figura 13. En ríos conservados, como el Magdalena al sur poniente de la ciudad, aún tienen lugar procesos ecosistémicos como el filtrado, la degradación y la dilución de contaminantes presentes en el agua. Foto: Laboratorio de Ecosistemas de Montaña, Facultad de Ciencias UNAM 2006.

lación de los flujos de agua y la regulación de la erosión. Asimismo, influye en el buen funcionamiento de otros SE, tal es el caso de la provisión de agua, la regulación de la calidad del aire, el control de enfermedades en humanos y la belleza escénica.

Calidad del agua superficial

En la Ciudad de México se han investigado diferentes aspectos de la calidad del agua, tanto en sistemas superficiales como subterráneos (Mazari-Hiriart *et al.* 2001*a*,*b*, 2003, 2005, 2008). La calidad del agua de algunos de los ríos que fluyen en la zona oeste y suroeste de la capital se analizó en años recientes por Mazari-Hiriart y colaboradores (2001*a*,*b*, 2003, 2005, 2008), que midieron indicadores fisicoquímicos y bacteriológicos. Este análisis incluye el río San Borja (figura 14), afluente del río Becerra (2008-2009) y los ríos Puerta Grande, Puente Colorado y la Presa de Tarango, ubicados en la Barranca de Tarango, delegación Álvaro Obregón (2008-2010). También se midió la calidad del agua en el río Magdalena que fluye por las delegaciones Cuajimalpa, Álvaro Obregón y La Magdalena Contreras, así como en el río Eslava que corre a través de la delegación Tlalpan y que se une al río Magdalena en la delegación La Magdalena Contreras.

Estos estudios demostraron que en las cuencas altas de estos ríos, donde la influencia humana es menor, los procesos ecosistémicos como la filtración del agua que se realiza a través del suelo y la degradación de los contaminantes que realizan algunos microorganismos y plantas, propician que la calidad del agua tienda a ser de buena calidad. Sin embargo, cuando estos aportes cruzan por zonas con influencia humana, reciben aguas residuales no tratadas, integradas principalmente por aportes de origen doméstico y escurrimientos



Figura 14. Río San Borja donde se aprecia el grado de deterioro del cauce y de su entorno inmediato. Foto: Verónica Aguilar 2008.

de las calles (que en conjunto se denominan descargas municipales), así como algunas descargas industriales. Esto provoca en todos los casos un incremento de bacterias coliformes (organismos microscópicos indicadores de presencia de materia fecal en el agua), así como de enterococos (bacterias que forman parte de la flora intestinal de los humanos y animales, que pueden causar distintas infecciones) y de otras bacterias patógenas. Una tendencia similar se observa en parámetros fisicoquímicos del agua como materia orgánica, conductividad eléctrica, sólidos en el agua, compuestos que contienen nitrógeno (amonio, nitrógeno total) y fósforo (ortofosfatos, fósforo total), considerados como nutrientes en los cuerpos de agua.

Las evaluaciones realizadas por la CONAGUA en las aguas superficiales de la ciudad muestran que uno de los pocos cuerpos de agua en la entidad que presenta una buena calidad es el río Magdalena. La situación de este río se presenta de manera más detallada como un estudio de caso en este capítulo. Sin embargo, las mediciones realizadas por Mazari-Hiriart y colaboradores entre 2008 y 2010 en el tramo de río que atraviesa la zona boscosa muestran una buena calidad del agua (figura 15). Una vez que llega a la mancha urbana, las características del agua cambian, lo que muestra una zona de transición en la que el agua de buena calidad se mezcla con aguas residuales domésticas. El río se transforma en una distancia corta en un canal de drenaje. Al suceder esto, se elevan los conteos bacterianos, la materia orgánica y el fósforo, y en menor medida, formas de nitrógeno como el amonio. El agua de este río es tratada en una planta potabilizadora ubicada antes de llegar a la zona urbana y se utiliza para abastecer a algunas colonias de la delegación La Magdalena Contreras. El agua limpia que fluye río abajo, convirtiéndose en drenaje, debería ser aprovechada considerando las diferencias de disponibilidad durante la época de lluvias y la de secas en la que el caudal es mucho menor.

El caso del río Eslava (afluente del Magdalena) es similar, pues el agua es de buena calidad en la zona donde nace (parque San Nicolás Totolapan), pero una vez que llega a la zona de asentamientos humanos, tanto irregulares como regulares, la calidad se ve afectada seriamente, lo cual se traduce en el detrimento de la calidad del agua del río Magdalena.

En los humedales y lagos naturales, como el de Xochimilco, la calidad del agua (figura 16), depende en gran medida del tipo de uso de suelo en la márgenes del cuerpo de agua (Contreras *et al.* 2009). Este humedal muestra una clara tendencia de degradación en las zonas de crecimiento urbano intenso, carente de servicios de drenaje (Solís *et al.* 2006, Espinosa-García *et al.* 2008, Mazari-Hiriart *et al.* 2008, Zambrano *et al.* 2009).

La mayor parte del agua utilizada para recargar la zona de canales de Xochimilco proviene de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) cerro de la Estrella (que aporta el mayor volumen) y San Luis Tlaxialtemalco. También hay un aporte mínimo de agua de lluvia, además de aguas residuales no tratadas que se vierten directamente a la zona de canales (Mazari-Hiriart *et al.* 2008). Con base en el análisis de calidad del agua (2000-2002) realizado por Mazari-Hiriart *et al.* (2008) y Espinosa-García *et al.* (2008), es posible aseverar que aún cuando el tratamiento del agua que llega a los canales parece no ser muy eficiente, debido a que llega aun con una gran variedad de microorganismos, la diversidad de los que son patógenos sí es menor con respecto a la que se encuentra en el agua almacenada en los canales, que se contamina por los asentamientos irregulares que han invadido la zona chinampera.

En la época de lluvias se arrastra suelo a los canales, lo que conlleva un aporte adicional tanto de nutrientes como de microorganismos al agua, por lo que la calidad del agua es mejor en época de secas que en la de lluvias. La presencia de virus y bacterias en el agua para

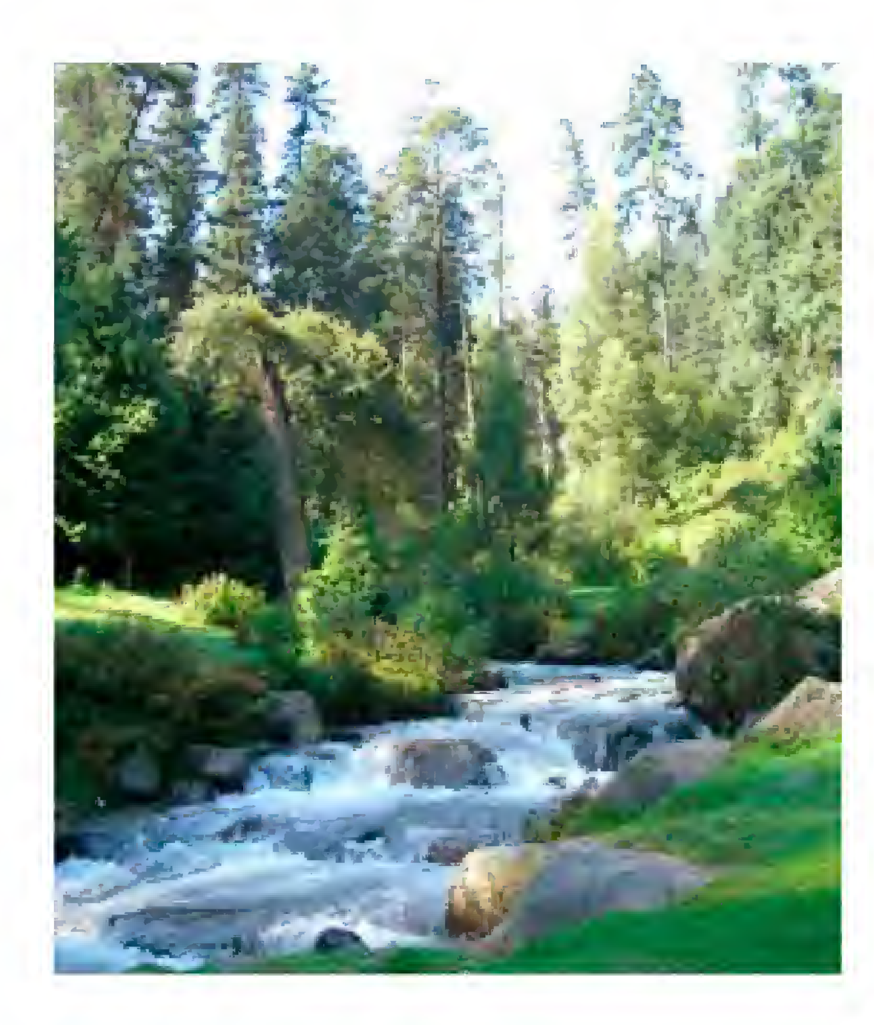




Figura 16. Canal en el humedal de Xochimilco. Foto: Banco de imágenes CONABIO 2012.

Figura 15. La calidad del agua del río Magdalena disminuye conforme aumenta la influencia humana. Foto: Lucía Almeida 2010.

riego, por el contrario, no muestra una relación clara con las épocas del año a excepción de los enterovirus y rotavirus, que sí mostraron una diferencia estacional significativa, siendo más abundantes en época de lluvias.

Los metales pesados, que incluyen fierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn) y plomo (Pb), estudiados por Solís *et al.* (2006) en el agua de los canales de Xochimilco, se encuentran en concentraciones altas en los sitios más poblados. Los patrones de distribución se relacionaron con las diferentes fuentes contaminantes. Este mismo estudio detectó fierro en cuatro zonas urbanas y en una agrícola, mientras que los niveles de cobre fueron similares en la zona urbana y en la agrícola. La presencia de zinc fue más evidente durante la época de lluvias que durante la de secas. El plomo fue detectado durante la temporada seca en los sitios urbanos como las lagunas Zacapa, Xaltocan y San Diego, en donde se alcanzaron las concentraciones más altas. Los metales se encuentran en niveles bajos en los efluentes de agua tratada, lo que muestra que al parecer tiene mayor influencia el aporte de las áreas agrícolas y de los caminos en la zona aledaña que la descarga de aguas tratadas, que no es una fuente importante de metales. De acuerdo con las regulaciones mexicanas, las concentraciones de los metales medidos no exceden lo establecido por las normas mexicanas para agua para irrigación (SEMARNAT 1996).

Las variables fisicoquímicas del agua de Xochimilco reflejan un sistema heterogéneo, somero, cálido, turbio y extremadamente rico en nutrientes, con concentraciones variables de oxígeno disuelto con una diferencia significativa a lo largo del ciclo anual y con capacidad para soportar y recuperarse ante las perturbaciones a lo largo del tiempo (Zambrano *et al.* 2009). Es claro que se requiere un mayor control tanto de los asentamientos irregulares como de la descarga de aguas residuales sin previo tratamiento que llegan a los canales. Además, es importante considerar que el agua superficial está ligada a la subterránea, debido a que al fluir a través del suelo recarga los acuíferos. De esta manera, en la zona se brinda un servicio de regulación tanto de la cantidad como de la calidad del agua de los acuíferos y el permitir asentamientos irregulares, carentes de servicios y en particular de drenaje, implica una pérdida de estos servicios vitales.

Los cauces de la Ciudad de México que presentan mayor deterioro son, el río San Buenaventura, el río Churubusco y el río de Los Remedios (figura 17) debido a que son conductores de grandes volúmenes de agua residual de la ciudad, así como el Gran Canal (CONAGUA 2009).

Las aguas residuales que se producen en la ciudad se unen con las generadas en el resto de la cuenca de México (estados de México e Hidalgo), y en conjunto suman un volumen anual de 1 862 hm^3. De este volumen, 6% se incorpora en procesos de tratamiento para mejorar su calidad y se reutiliza para el riego de jardines, lavado de autos y procesos industriales dentro de la cuenca de México. El porcentaje restante (94%) se saca de la cuenca sin aplicarle ningún tratamiento y se emplea casi en su totalidad para el riego de cultivos (CONAGUA 2009). Esto tiene graves implicaciones ambientales para la zona receptora, cuya superficie principal corresponde al valle de Tula, en el estado de Hidalgo, que desde hace más de 100 años con lo que se incorporan sustancias nocivas al suelo, a los acuíferos y a los cultivos, siendo especialmente importantes los metales pesados. Actualmente, se abastece de esta manera una superficie de 90 000 ha, en donde se produce maíz (*Zea mays*), alfalfa (*Medicago sativa*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum aestivum*) (Vázquez-Alarcón *et al.* 2005). Para mayor información sobre los SE que presta el Valle de Tula, se puede consultar a Jiménez-Cisneros y Chávez-Mejía en esta obra.

La contaminación provocada por el agua que se extrae de la cuenca de México no se restringe a las zonas irrigadas, debido a que los contaminantes viajan a través de la cuenca del río Pánuco hasta llegar al golfo de México. Este recorrido comienza en el río Tula (cauce que recibe el agua de la Ciudad de México), se une al río Moctezuma, llega al río Pánuco y finalmente desemboca en el mar pasando por los estados de México, Hidalgo, Querétaro, Veracruz y Tamaulipas (Peña 2008). Es así como las descargas de aguas residuales sin tratamiento procedentes de la capital contribuyen a agravar el problema de

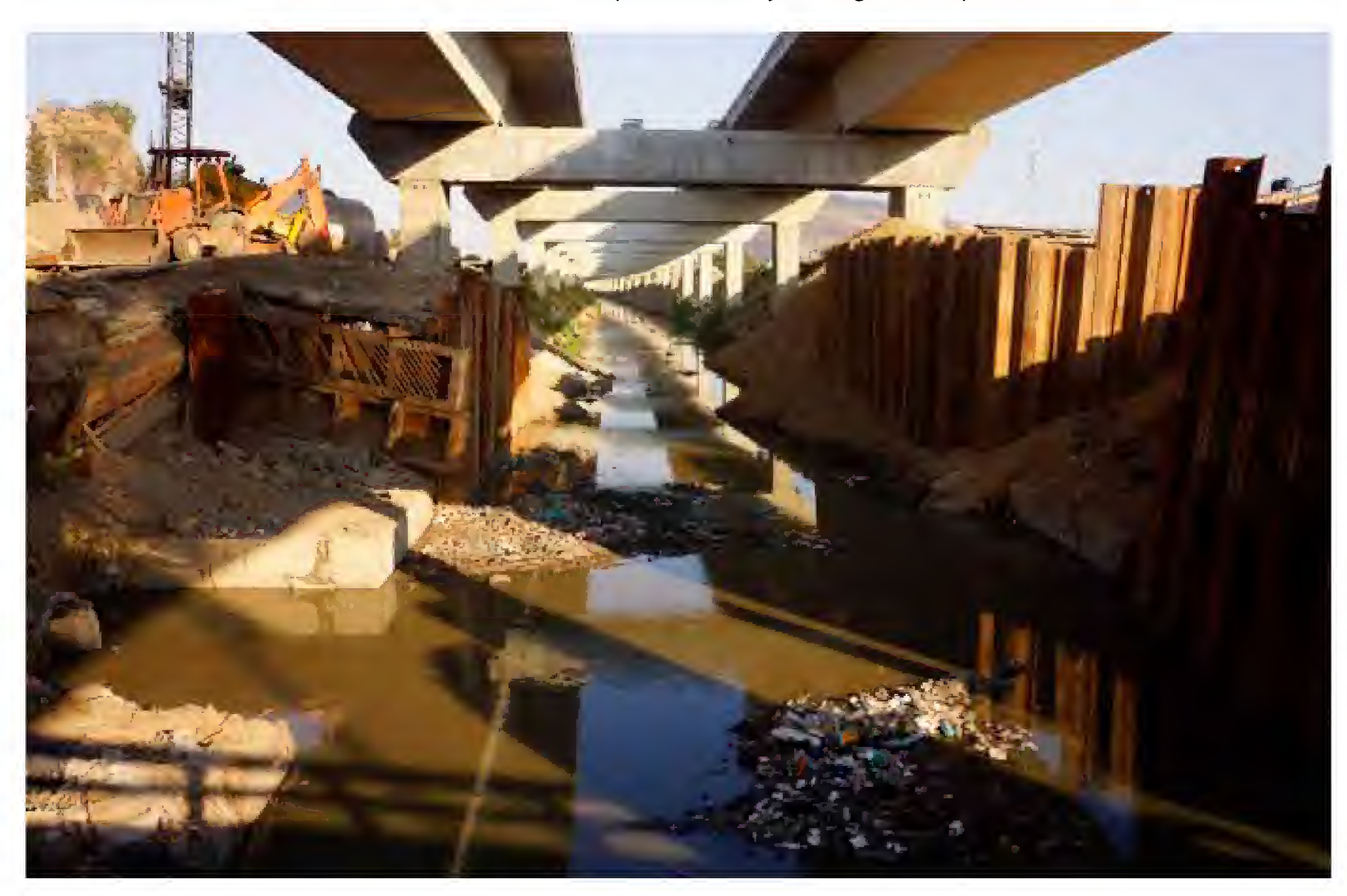


Figura 17. Vista del río de los Remedios, cuyo cauce funge actualmente como canal de aguas residuales. Foto: Jenifer Segura 2013.

contaminación de la cuenca del río Pánuco, de los ecosistemas acuáticos presentes en ella y de su desembocadura en estuarios y finalmente en el mar. Dicha contaminación es considerada como la principal causa de la disminución de biodiversidad en esa región (Garrido *et al.* 2010).

Calidad del agua subterránea

Este SE se refiere a la capacidad de depuración y limpieza del agua debido a la interacción con el suelo, la naturaleza geológica del acuífero, y el funcionamiento hidrogeológico del mismo, la cual puede verse influenciada por condicionantes externos (Mook 2002). Para el caso de la Ciudad de México, el hundimiento diferencial del suelo provoca la ruptura de tuberías y problemas de contaminación cruzada porque el agua limpia del sistema de distribución se mezcla con agua de mala calidad proveniente de infiltraciones a través del suelo o del sistema de drenaje, lo que representa un riesgo para la calidad de los acuíferos ya que se trata de una vía potencial de contaminación (Mazari-Hiriart *et al.* 1996). La pérdida de humedad en el suelo genera el agrietamiento de la formación arcillosa superior, lo cual puede facilitar el flujo de agua contaminada de la superficie hacia zonas mucho más cercanas al acuífero. De ocurrir esto, la consecuencia más grave sería una contaminación masiva del acuífero (Mazari-Hiriart *et al.* 1996). Esto podría tener consecuencias en la salud de la población; por ejemplo a corto plazo enfermedades gastrointestinales agudas, y a mediano y largo plazo enfermedades crónico degenerativas, lo que pone de manifiesto la necesidad de un monitoreo de calidad del agua más completo, que permita guiar el diseño de las plantas de tratamiento de aguas residuales con los requerimientos actuales y que resulten mas adecuadas que las existentes en la ciudad, lo que debería ir a la par con regulaciones más estrictas de cumplimiento obligatorio.

Debido a la explotación excesiva del acuífero y al impacto del hundimiento del estrato arcilloso, las arcillas han liberado iones, afectando la calidad del agua. Los iones de cloro han aumentado en la parte central de la zona urbana, y aún cuando no tienen repercusiones inmediatas en salud indican una alteración de la calidad del agua.

El organismo de Cuenca de Aguas del Valle de México lleva a cabo mensualmente el análisis de la calidad del agua en los pozos ramales que integran el sistema Plan de Acción Inmediata. De acuerdo con los resultados de los análisis de 2008, 72% de los pozos que se encuentran dentro de la ciudad que forman parte de los sistemas Mixquic-Santa Catarina y Tláhuac-Nezahualcóyotl, no cumplen con los lineamientos establecidos en la NOM 127 (SS 1995), es la normatividad vigente para uso y consumo humano, lo cual hace necesario someterla a un tratamiento para su potabilización, debido a que sus características químicas y bacteriológicas para evitar efectos negativos para la salud humana. Con esta agua se abastecen las delegaciones Azcapotzalco, Gustavo A. Madero, Iztapalapa y Venustiano Carranza (CONAGUA 2009).

Para conocer la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación por compuestos orgánicos procedentes de distintas fuentes potenciales, se realizaron estimaciones en la zona urbana, la industria, el drenaje primario y profundo, las gasolineras, los depósitos de combustible, los tiraderos y/o confinamientos controlados y los pozos de extracción (Mazari-Hiriart *et al.* 2006). Con base en un análisis multicriterio desarrollado específicamente para la ZMCM, se generaron grados de vulnerabilidad que se clasificaron en cinco categorías: muy bajo, bajo, moderado, alto, muy alto. El área con categoría de alto y muy alto ocupa 1.5% de la Ciudad de México, con lo cual se pueden identificar áreas críticas (como son ciertas zonas en las delegaciones Álvaro Obregón e Iztapalapa) donde deberían darle prioridad a las acciones de intervención, con plantas potabilizadoras que operen eficientemente para el agua limpia que se distribuye a la población y sistemas de tratamiento

de agua residuales para las agua de desecho.

La entidad, al igual que otras urbes del país, presenta una tendencia a la conglomeración de sitios de riesgo alto y muy alto. En estas zonas urbano-industriales las actividades productivas se intercalan con las viviendas en la mancha urbana por una falta de planeación, lo que asociado a la heterogeneidad de los asentamientos humanos genera diversos niveles de riesgo para ciertos sectores de la población y desde luego pérdida de otros SE, como el de provisión de agua dulce (Mazari-Hiriart *et al.* 2006, Zarco *et al.* 2006). Los asentamientos irregulares aumentan el riesgo de contaminación del agua por el incremento de metales pesados, principalmente hierro (Fe) y manganeso (Mn) (Lesser *et al.* 1986), así como de nitratos y amonio en algunos pozos (Sheinbaum 2008).

Este SE funciona de manera óptima únicamente en la parte alta de la región de Bosques y Cañadas, donde se genera agua superficial de buena calidad, de donde se alimentan los manantiales. Este SE no es tan evidente como otros, sin embargo, la urbanización del territorio genera una mayor vulnerabilidad a la contaminación, debido a que se elimina la capacidad de filtración y retención de contaminantes.

Conclusión

Al fluir a través del suelo el agua superficial recarga los sistemas de agua subterránea, brindando un servicio de regulación tanto de la cantidad como de la calidad del agua, por lo que los asentamientos irregulares, carentes de servicios y en particular de drenaje sin tratamiento, implican una pérdida de estos servicios vitales. Consecuentemente, si se quiere mantener este SE es imprescindible evitar que se sigan estableciendo asentamientos de este tipo.

El aumento de la población de la ciudad y de sus actividades comerciales e industriales provoca que crezca considerablemente el volumen de las aguas residuales, mismas que son desalojadas sin tratamiento a los cuerpos de agua de la entidad. De esta manera, los escurrimientos naturales se contaminan, provocando que ríos y humedales se transformen en drenajes. Aunado a la disminución en la capacidad de filtración y retención de contaminantes y hundimiento diferencial que facilita una rápida infiltración, el aumento de las aguas residuales puede llevar a contaminar los acuíferos y limitar su potencial para utilizarla en las actividades domésticas, agrícolas y recreativas, entre otras. Además, representa un riesgo para la biodiversidad, pues muchas especies son poco tolerantes a los cambios en las características fisicoquímicas del agua. Esto hace urgente que se realicen actividades de restauración.

La calidad del agua va ligada a otros aspectos sumamente importantes para la sustentabilidad de las ciudades, como es la salud humana. Los efectos del mantenimiento de los SE abarca más allá de los límites políticos y naturales, y su detrimento afecta regiones más alejadas como el caso del valle de Tula (Hidalgo) y en general, la cuenca del río Pánuco.

Regulación de los flujos de agua

Este servicio se refiere al mantenimiento de los patrones regulares de infiltración del agua en las cuencas, así como de escorrentía y descarga de los ríos (De Groot *et al.* 2002). Dependiendo de las condiciones de la vegetación, la pendiente de las laderas, el tipo de suelo y las características geológicas, un porcentaje de la precipitación pluvial se infiltra en el suelo (Maderey y Jiménez 2005). Parte de esa agua suele desplazarse lentamente de manera sub-superficial y subterránea, para posteriormente infiltrarse profundamente hacia los acuíferos, o para aflorar a la superficie generando manantiales e incorporarse al cauce de los ríos. El escurrimiento que se forma de esta manera se denomina flujo base (Remeiras 1974).

El flujo base contribuye a mantener estable el volumen de agua de los ríos y permite que,

durante la época de secas, sigan teniendo agua disponible para los ecosistemas acuáticos y para las actividades humanas (Linsley *et al.* 1977). Entre mayor sea el porcentaje de escurrimiento que forma flujo base, menor será el volumen de agua que escurre sobre la superficie del suelo durante las precipitaciones (flujo superficial), lo que reduce el riesgo de sufrir inundaciones (Brüschweiler *et al.* 2004).

Entre los SE más importantes relacionados con el funcionamiento del servicio de regulación de flujos de agua están el ciclo hidrológico, la formación y retención de suelo y la regulación del clima. La existencia de este servicio es importante para otros servicios como hábitat, provisión de agua, regulación de la calidad del agua y belleza escénica.

La regulación de los flujos de agua tiene una estrecha relación con las características geológicas y edafológicas. En la cuenca de México hay tres zonas geotécnicas con diferente funcionamiento hidrológico: la zona montañosa, donde se originan escurrimientos superficiales y flujos sub-superficiales a través de los suelos más permeables que forman manantiales, arroyos y ríos que se dirigen hacia la parte central de la cuenca; la zona de transición, ubicada al pie de la zona montañosa, en donde se infiltra la mayor parte del agua que recarga los acuíferos; y la zona lacustre, que representa la zona de descarga y almacenamiento del agua infiltrada (Marsal y Mazari 1969, Burns 2009).

La zona lacustre presenta depósitos de arcilla, originados por el sistema de lagos que se caracterizan por una compresibilidad alta (0.745 cm^2/kg) y una porosidad también alta (80 a 90%), por lo cual no son suficientemente permeables como para permitir la extracción de cantidades significativas de agua mediante pozos, pero admiten algún movimiento de la misma (Marsal y Mazari 1969). Bajo las capas arcillosas se ubica el principal sistema acuífero regional de la cuenca, formado por sedimentos aluviales y volcánicos (Marsal y Mazari 1969, Ortega y Farvolden 1989). Este sistema se encuentra conformado por varios acuíferos interconectados, desde los que se suministra la mayor parte del agua al área metropolitana. De ellos, solo el acuífero Xochimilco-Tláhuac-Chalco se ubica dentro de la Ciudad de México. En los límites con la entidad existen otros acuíferos que tienen relación con el sistema hidrológico subterráneo, como son el del Lago de Texcoco al este (figura 18) y Teoloyucan-Tizayuca y Los Reyes-Chiconautla al norte (DDF 1987, Mazari-Hiriart y Mackay 1993, Ezcurra *et al.* 2006).

La recarga del acuífero principal de la entidad es de 279 hm^3/año, pero la disponibilidad media de agua subterránea es de -970 hm^3/año, es decir, se extrae más agua de la que se infiltra (CONAGUA 2009). Esto pone de manifiesto que la demanda actual de agua subterránea es tres veces superior a la capacidad de los ecosistemas para infiltrar el agua que se extrae por bombeo.

En los alrededores de la cuenca de México hay tres importantes zonas de recarga de los acuíferos, que reciben grandes volúmenes de precipitación: las sierras de Chichinautzin, Las Cruces y Nevada (Ortega y Farvolden 1989). Diversos autores han estimado recargas anuales para la cuenca de México, por ejemplo, Carrera-Hernández y Gaskin (2008) calcularon de 10.9 a 23.8 m^3/s entre 1975 y 1986, en comparación con Birkle *et al.* (1998) que estimaron un flujo de recarga de 15.6 m^3/s. mientras que Durazo y Farvolden (1989) registran un flujo de recarga de 55 m^3/s. El patrón de recarga en la sierra de Las Cruces es diferente, según Carrera-Hernández y Gaskin (2008), debido a que consideran que aún cuando la cubierta vegetal es similar, entre los meses de junio a agosto se observan mayores tasas de recarga en la zona norte.

El crecimiento de la mancha urbana de la capital redujo las masas forestales por lo que disminuyeron los niveles de infiltración. Para 1985 se registró una reducción del 20% en la capacidad original de recarga de la cuenca (Carrera-Hernández y Gaskin 2008). Esta capacidad de recarga, que seguramente se redujo



Figura 18. Vista del lago de Texcoco en época de secas con nivel de agua somera. Foto: Manuel Grosselet/Banco de imágenes CONABIO.

en los últimos 25 años por el crecimiento desmedido de los asentamientos, especialmente en las partes bajas de las sierras, que son fundamentales para conservar este SE de gran relevancia para los habitantes de la ciudad.

En el SC aún existe una alta capacidad de infiltración (cuadro 9), y 3.4% de la precipitación escurre de manera superficial. Por sus características geológicas, el mayor escurrimiento superficial se presenta en la sierra de Las Cruces, con magnitudes por arriba de los 50 hm^3/año (figura 19). En la sierra de Chichinautzin los escurrimientos superficiales son de menor cuantía, y sólo alcanzan alrededor de 1 hm^3/año, por lo que la recarga de sus sistemas de agua subterránea es de mayor importancia, con valores de aproximadamente 161 hm^3/año. El SC almacena una cantidad importante de agua, de la cual una parte descarga a través de los manantiales perennes e intermitentes en forma de flujo subsuperficial (SMA y UAM 2010).

Independientemente de las características geológicas, uno de los factores más importantes que incide en la disminución de la capacidad de infiltración es la deforestación provocada por el cambio de uso de suelo. En el SC la superficie ocupada con actividades de agricultura y pastoreo es de 265 km^2, que equivale 30% de su territorio (GDF 2012). Si continúan aumentando las zonas deforestadas puede alterarse de manera considerable el funcionamiento de los flujos de agua en esa zona.

En contraparte al funcionamiento hidrológico que presenta el SC, las zonas urbanizadas se caracterizan por un sellamiento de los suelos por las edificaciones y vialidades en la mayor parte de su superficie, lo cual implica que prácticamente toda el agua que llueve se escurre superficialmente, propiciando un mayor riesgo de inundaciones por la saturación de los sistemas de drenaje. La superficie total de la ciudad que está sellada es de 713 km^2, que equivalen 47% de su territorio (Cram *et al.* 2008).

El volumen medio anual del escurrimiento de aguas superficiales en las sub-cuencas hidrográficas Xochimilco y Ciudad de México es de 408.75 hm^3, este escurrimiento se concentra principalmente de junio a septiembre, debido a que 68% de la precipitación cae en este periodo (CONAGUA 2009), que es el de mayor susceptibilidad a inundaciones. Esta situación tiende a agravarse por los cambios en el clima de la entidad, debido a que de 1982 a la fecha, la cantidad de agua que se precipita se ha elevado 7% (GDF 2010), mientras que el número de aguaceros intensos se duplicó en comparación con la ocurrencia de este tipo de eventos durante los años sesenta (Conde *et al.* 2010).

La Ciudad de México tiene una larga historia de inundaciones ligada a la transformación del paisaje lacustre, que inició desde antes de la época de la colonia. A pesar de que se construyeron grandes obras para extraer el agua de la cuenca de México, como es el Gran Canal de Desagüe, el Emisor Poniente y el Sistema de Drenaje Profundo, siguen ocurriendo inundaciones año con año (Ezcurra *et al.* 2006). Esta situación se agrava con el hundimiento de la ciudad, la falta de mantenimiento y azolvamiento de las presas para el control de avenidas, así como con la modificación de los cauces del sistema hidrológico de la cuenca de México. Además, el crecimiento desordenado de la capital propicia la ocupación y deterioro de los cauces y barrancas del poniente de la ciudad, y

Cuadro 9. Balance hidrológico del SC.

Componente	Volumen anual (hm³)	Porcentaje respecto a la precipitación
Precipitación	1 674	100.0
Evapotranspiración	1 004	60.0
Flujo sub-superficial	73	4.4
Recarga o infiltración profunda	209	12.5
Almacenamiento en la zona no saturada del suelo	331	19.7
Escurrimiento superficial	57	3.4

Fuente: SMA y UAM 2010.

la invasión de las antiguas zonas lacustres, con lo que aumentan los daños ocasionados por las inundaciones (cuadro 10) (CONAGUA 2009).

Conclusión

La regulación de los procesos de infiltración y escurrimiento son esenciales para el mantenimiento de las actividades de la ciudad. En este proceso el SC juega un papel importante, debido a que sus características geológicas en conjunto con la vegetación permiten que existan zonas con alta infiltración y flujo base, así como una reducción de los volúmenes y velocidades del agua que escurre de manera superficial. Sin embargo, el deterioro de las zonas forestales provoca la disminución de la capacidad de infiltración en la entidad, situación que tiene una fuerte influencia en la dinámica de los flujos de agua. El flujo base se ha reducido, lo que provoca la disminución de los cauces de los ríos y la desaparición de algunos manantiales. Además, el incremento del escurrimiento superficial del SC y en la zona urbana prácticamente toda la lluvia escurre hacia los sistemas de drenaje, con lo cual aumenta gravemente el riesgo de padecer inundaciones en la época de lluvias. La situación puede agravarse debido a las modificaciones que presenta el clima de la ciudad, que favorece el aumento en el volumen e intensidad de la precipitación, principalmente en el surponiente de la ciudad.

La estrategia seguida durante las últimas décadas de sacar el agua de la cuenca hacia la zona norte, sin tratarla ni reutilizarla, como una respuesta a la alteración del ciclo hidrológico y a la prevención de inundaciones debe cambiarse paulatinamente para lograr realmente un cambio en el manejo de las aguas residuales a mediano plazo. Es necesaria la planeación e implementación de un sistema de separación de agua de lluvia, que evite inundaciones y permita tratar el agua para su reutilización, debido a que este recurso es finito e indispensable, y que en las condiciones actuales, no puede considerarse como renovable.

Regulación de la erosión

Este SE controla la pérdida gradual del suelo ocasionada por la acción mecánica del agua y del viento (erosión hídrica y eólica, respectivamente) (De Groot *et al.* 2002, MA 2003*a*, Díaz *et al.* 2005).

La erosión es un proceso natural que a lo largo de miles de años remodela la superficie del suelo al transportar, por la acción del agua y el viento, los materiales que la conforman. Sin embargo, derivado del cambio de uso de suelo para desarrollar actividades como la agricultura, ganadería, apertura de caminos,

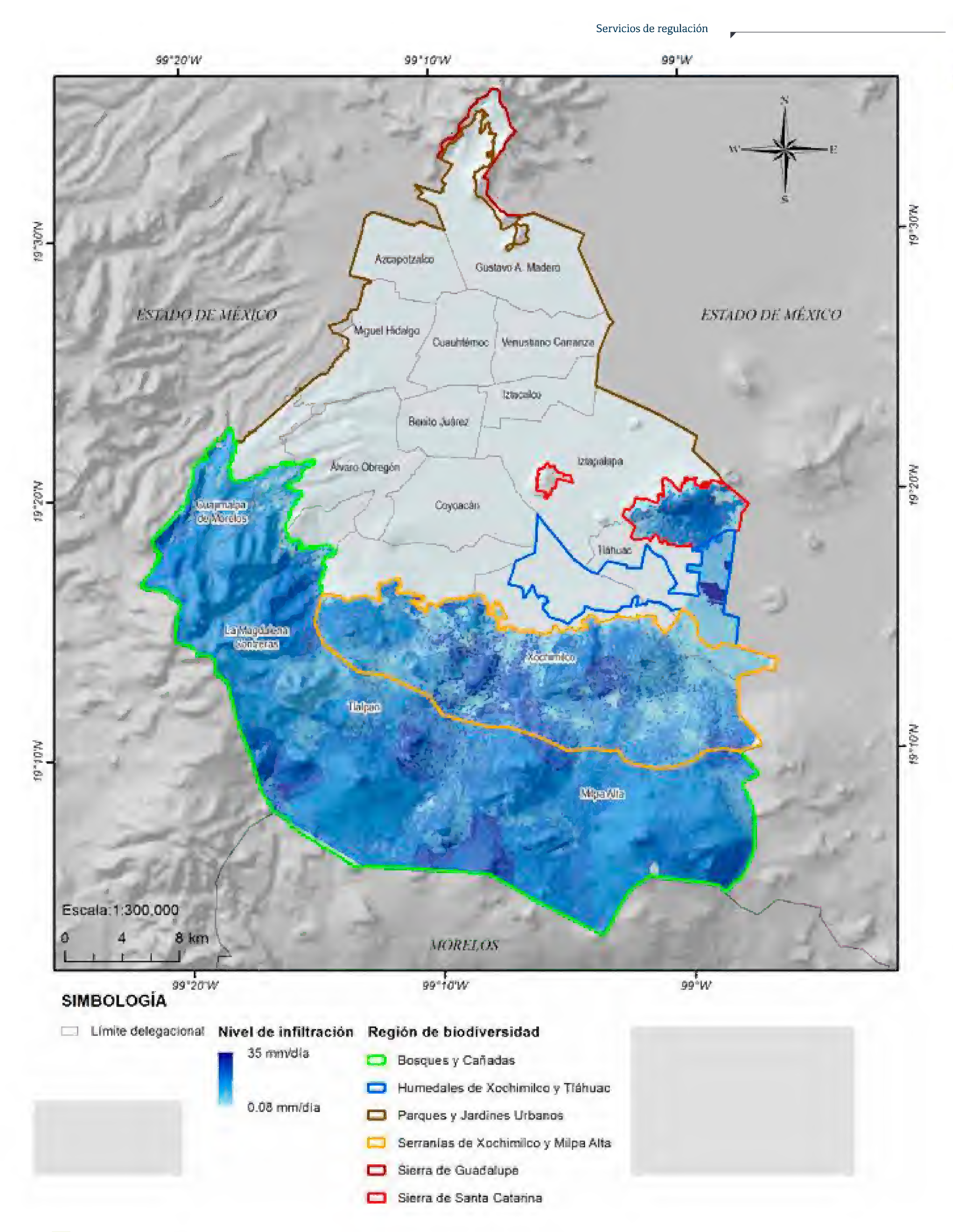


Figura 19. Aptitud de infiltración del suelo de conservación. Fuente: elaboración propia con información de GDF 2012.

Cuadro 10. Daños ocasionados por las inundaciones de mayor impacto de 1990 a 2010.

Fecha del evento	Zona afectada	Daños
04/05/1990	Milpa Alta	El agua y el lodo llegaron a 1.50 m de altura; fueron afectados 22 mil habitantes, el 30% de las viviendas y vialidades principales
15/07/1990	Iztapalapa	El agua alcanzó más de un metro de altura; derrumbes de bardas; 3 mil familias afectadas
13/09/1997	Ciudad de México y municipios conurbados	Caos vial y anuncios de espectaculares caídos, no se reportaron afectaciones a viviendas
10/09/1998	Ciudad de México	Hasta 50 cm de altura el agua por inundaciones, afectada toda la ciudad
11/06/2004	Iztapalapa	Inundaciones en importantes vialidades como la avenida Zaragoza, Sor Juana Inés de la Cruz y la Vicente Villada, afectando a miles de automovilistas
21/07/2004	Ciudad de México	Una fuerte precipitación pluvial, acompañada de granizo, tuvo lugar prácticamente en toda la ciudad de México. Una de las zonas más afectadas fue el sur, donde el río San Francisco, de Topilejo, delegación Tlalpan, se desbordó.
31/08/2005	Ciudad de México	Inundaciones y encharcamientos en las principales avenidas de la ciudad, pistas del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México y el cierre de cuatro estaciones de la línea 5 del metro.
25/06/2006	Ciudad de México	Lluvias dejan caos y severas inundaciones en 46 zonas de cinco delegaciones de la ciudad; la colonia Álamos fue de la más afectada en la delegación Benito Juárez.
07/09/2009	Ciudad de México	Se registraron afectaciones en diferentes vialidades como Boulevard Puerto Aéreo, Circuito Interior y Periférico; cinco estaciones del metro permanecen cerradas debido a que resultaron inundadas.
05/02/2010	Ciudad de México	Afectaciones en 1 240 viviendas de la ciudad, principalmente en la delegación Iztapalapa.
11/07/2010	Ciudad de México	Se registraron 200 encharcamientos y 22 árboles caídos, además de 66 viviendas afectadas.

Fuente: modificado de CONAGUA 2009.

etc., se aceleró este proceso (Hudson 1982). La vegetación juega un papel importante en el funcionamiento de este servicio, debido a que se relaciona con la formación y la retención del suelo (MA 2003*a*).

La regulación de la erosión está estrechamente relacionada con los SE de formación y retención del suelo, ciclo del agua y regulación de flujos de agua. El SE de regulación de la erosión también tiene una influencia directa significativa en los SE de productividad primaria y provisión de alimentos.

La erosión en en el SC se determina por los cambios de uso de suelo hacia la agricultura y la ganadería, las presiones ligadas a los procesos de urbanización (construcción de vías de comunicación y los asentamientos irregulares), así como por la alteración de la vegetación forestal a causa de los incendios y la extracción de madera y tierra (Sheinbaum 2008). Las zonas agrícolas, los pastizales inducidos y los bosques perturbados que en el SC representan el 20, 10 y 14% de la superficie, respectivamente, tienen una menor capacidad para proteger el suelo que los ecosistemas naturales conservados, esto aumenta su vulnerabilidad a la erosión (GDF 2012). Prácticamente, en las zonas urbanizadas (49% del territorio de la Ciudad de México) no existen procesos erosivos, debido a que el suelo está sellado por la presencia de edificaciones y vías de circulación vehicular (Cram *et al.* 2008).

El valor promedio de la erosión total (incluyendo la hídrica y la eólica) en la ciudad es de 38.8 ton/ha/año (UAEM y SMA 2010), estos valores llegan a ser más elevados en zonas como Milpa Alta y Tlalpan, donde la erosión rebasa las 300 t/ ha/ año (SEMARNAT 2010).

El SC presenta 83% de su territorio con algún tipo de erosión, es decir, casi la mitad de la superficie de la entidad (72 303 ha equivalente a 723 km²) sufre la pérdida acelerada de suelo por la acción del viento, el agua o ambos. La mayor parte de esta superficie presenta una afectación ligera (<10 ton/ha/año) (cuadro 11) (SMA y UAM 2010).

Las condiciones que determinan en mayor medida el proceso de erosión son la escasa presencia de vegetación, la predominancia de pendientes pronunciadas, las actividades agrícolas sin control erosivo y la presencia de asentamientos humanos que propician la destrucción de la vegetación en sus inmediaciones (UAEM y SMA 2010). Las actividades agrícolas ocupan una superficie importante en el SC, y se asocian a suelos erosionados, como lo demuestra el hecho de que las delegaciones con mayores problemas de erosión sean: Milpa Alta, Tlalpan, Tláhuac y Xochimilco, que cuentan con amplias superficies agrícolas (figura 20). Por otra parte, la deforestación y los incendios en los bosques en el perímetro de la ciudad, aumentan el grado de erosión de los suelos y provocan una mayor producción de sedimentos, que con las lluvias son arrastrados hacia las partes bajas de la entidad, causando bloqueos en el drenaje (Sheinbaum 2008).

Por sus características topográficas y climáticas, en la ciudad predomina la erosión de tipo hídrico. Las zonas con pendientes pronunciadas y las barrancas ubicadas en el sur y sur poniente (sierras de Chichinautzin y Las Cruces) son las más susceptibles a este tipo de erosión, principalmente: al sur del poblado de San Bartolo Ameyalco en la delegación Álvaro Obregón, sur del poblado de San Nicolás Totolapan en la delegación La Magdalena Contreras, cerro el Quepil y volcanes Pelado, Oyameyo, Acopiaxco y la Caldera en la delegación Tlalpan, sur del poblado de San Francisco Tlalnepantla en la delegación Xochimilco, sur de Villa Milpa Alta en la delegación Milpa Alta. Una parte considerable de la sierra de Guadalupe en la delegación Gustavo A. Madero también tiene un alto potencial para este tipo de procesos erosivos (figura 21). La susceptibilidad de los suelos a este tipo de erosión se relaciona con las pendientes pronunciadas, vegetación con baja cobertura, principalmente de matorrales y bosques inducidos y, en el caso de las delegaciones de Milpa Alta y Tlalpan, con el uso marcadamente agrícola del suelo (GDF 2012).

El valor promedio de la erosión hídrica en la entidad es de 25 ton/ha/año, y las delegaciones más afectadas son Gustavo A. Madero (47 ton/ha/año), Tlalpan (32.2 t/ha/año), La Magdalena Contreras (30.7 t/ha/año), Álvaro Obregón (28.7 t/ha/año), Milpa Alta (28.6 t/ha/año), Cuajimalpa De Morelos (23.3 t/ha/año), Xochimilco (16.4 t/ha/año) e Iztapalapa (11.5 t/ha/año) (UAEM y SMA 2010).

En cuanto a los efectos de la erosión eólica, los sitios con mayor potencial de ser afectados por este tipo de degradación del suelo se localizan en los lomeríos del norte y sur de Milpa Alta, entre los poblados de San Andrés Mixquic y San Antonio Tecomic, en donde el relieve es plano, en el área natural protegida de Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco y en la Sierra de Santa Catarina (figura 22). En estos sitios existen suelos agrícolas que en algunas épocas del año permanecen desprovistos de vegetación y no presentan prácticas de conservación de suelos, así como áreas en donde la vegetación de matorral presenta

Cuadro 11. Superficie de suelo con erosión por grado de afectación. Incluye tanto la erosión eólica como la hídrica.

Grado de erosión	Superficie (ha)	%
Alta	41 177.56	57
Moderada	23 215.96	32
Ligera	7 909.49	11
Total	72 303.00	100

Fuente: UAEM y SMA 2010.

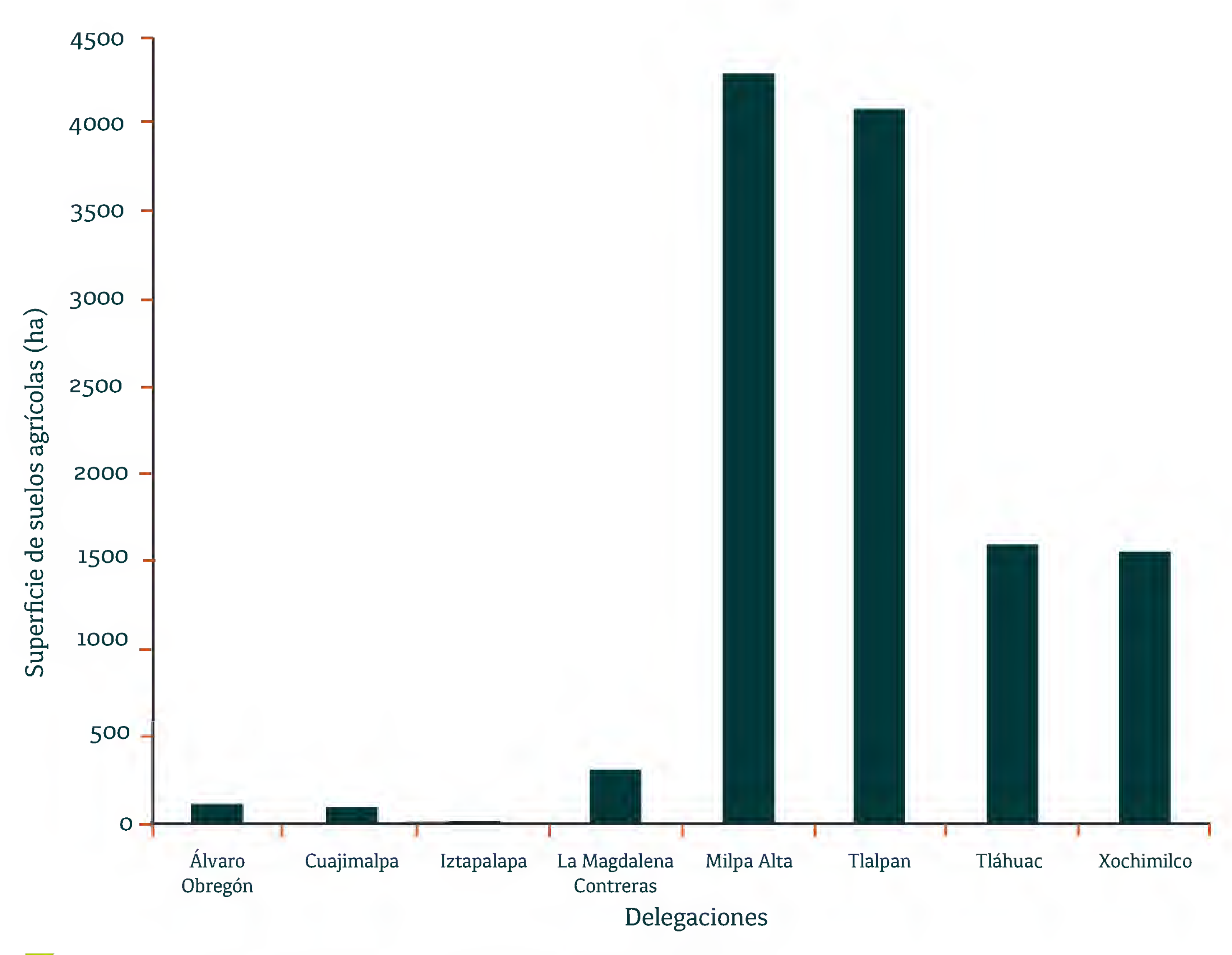


Figura 20. Superficie agrícola en delegaciones políticas. Fuente: UAEM y SMA 2010.

cobertura vegetal escasa (GDF 2012). Otros factores relacionados con esta problemática son la deforestación y las quemas de origen agropecuario (SMA y UAM 2010).

Actualmente, en la entidad se estima que existe un valor medio de erosión eólica de 13.8 t/ha/año. Las delegaciones más afectadas son Tlalpan (50.5 t/ha/año), Iztapalapa (24.8 t/ha/año), La Magdalena Contreras (21.1 t/ha/año), Tláhuac (16.4 t/ha/año) y Cuajimalpa de Morelos (8.3 t/ha/año) (UAEM Y SMA 2010).

Tomando en cuenta la situación actual de erosión en la ciudad y la probabilidad de que su territorio sufra este proceso de deterioro, las zonas en donde es más importante que se mantenga y potencialice el SE de regulación de la erosión pueden definirse por su vulnerabilidad a los diferentes agentes erosivos (agua o aire). Para la regulación de la erosión de tipo hídrico son especialmente importantes la regiones de Bosques y Cañadas, Serranías de Xochimilco y Milpa Alta, y Sierra de Guadalupe. En el caso de la erosión eólica las zonas más importantes son Sierra de Santa Catarina (figura 23), Humedales de Xochimilco y Tláhuac, y parte de las Serranías de Xochimilco y Milpa Alta.

Conclusión

El suelo tiene funciones vitales para los ecosistemas terrestres, debido a que sirve como sustrato de las plantas y regula el ciclo de nutrientes a partir de la descomposición de desechos y de materia orgánica. Es necesario evitar su pérdida por los efectos del proceso de erosión y es fundamental para el mantenimiento de las funciones y procesos de los ecosistemas que propocionan bienestar a las poblaciones humanas (Balvanera y Cotler 2009). Por las particularidades geográficas y topográficas de la cuenca de México, es necesario conocer los

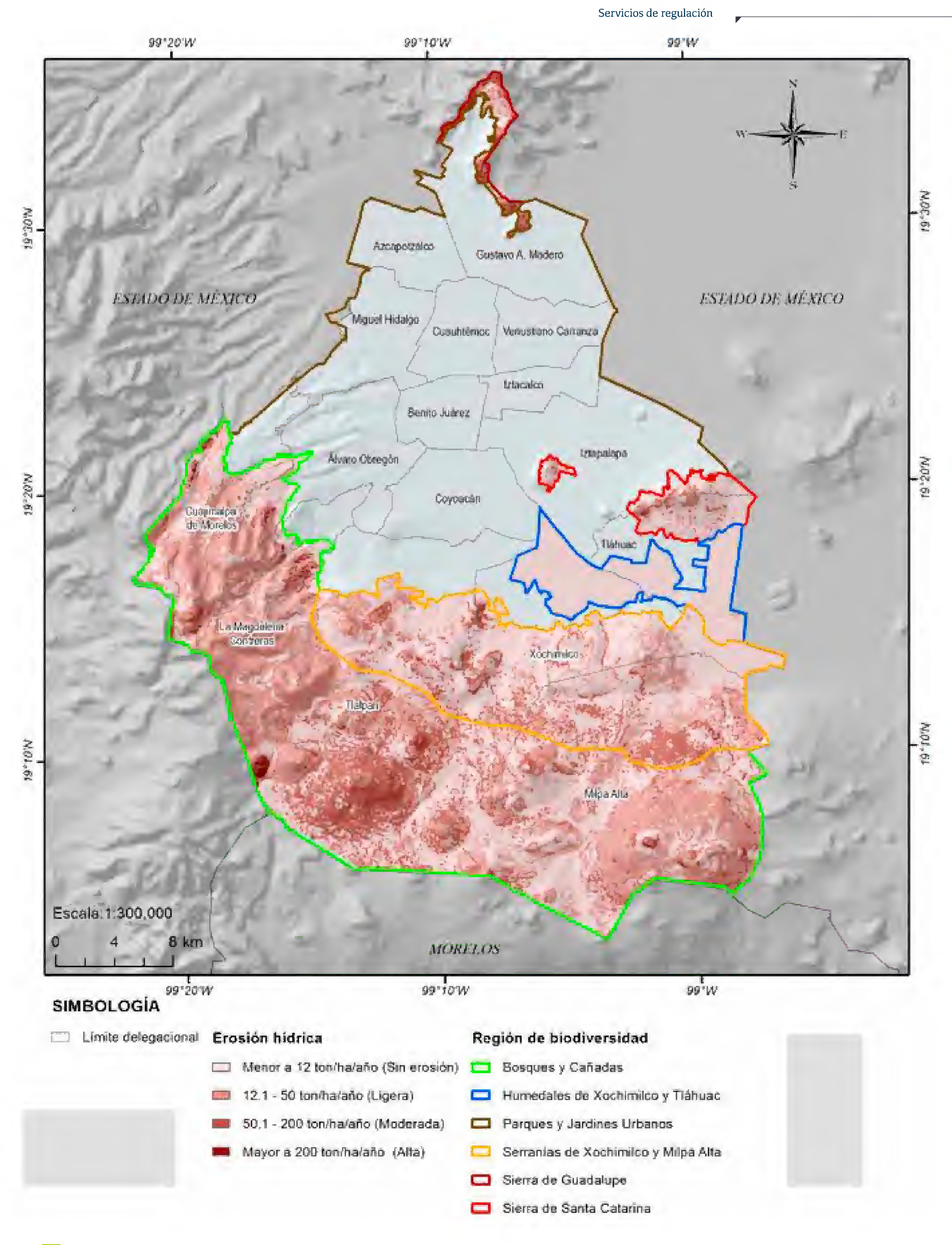


Figura 21. Erosión hídrica en el SC. Fuente: GDF 2012.

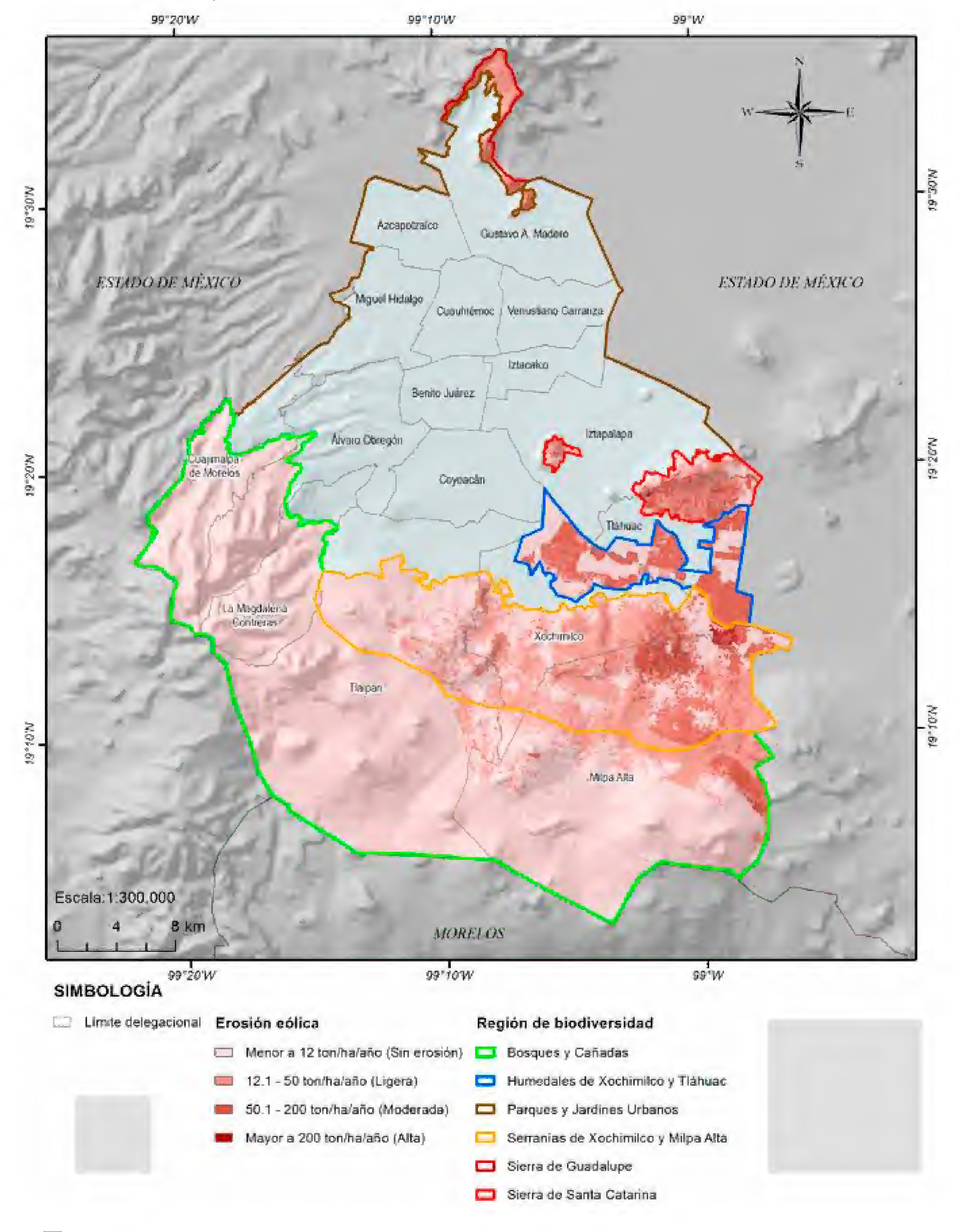


Figura 22 Erosión eólica en el SC. Fuente: GDF 2012.



Figura 23. Sierra de Santa Catarina al sureste de la ciudad, área en donde el SE de regulación de la erosión tiene su mayor impacto. Foto: Inti Burgos.

vínculos entre este SE y los de formación y retención del suelo, regulación de flujos de agua y del ciclo del agua, pues esta información permitirá plantear soluciones relacionadas con la conservación de suelos y el manejo de escurrimientos en la Ciudad de México. Es importante hacer uso extensivo de algunas técnicas de conservación encaminadas a la reducción de los efectos de la erosión, como son la disminución del arado de las tierras, la rotación de cultivos, la utilización de bordes arbolados en campos de cultivo y el uso de material de origen vegetal para hacer acolchados o "mulchs" (capas protectoras de suelo), entre otras (MA 2005*b*). Asimismo, es importante poner especial énfasis en los programas de reforestación y control de incendios, debido a que la vegetación es indispensable para retener el suelo.

Polinización

La polinización es el proceso de transferencia de polen para llevar a cabo la reproducción sexual de las plantas. En él intervienen factores ambientales como el viento, aunque con frecuencia se considera que la manera más efectiva y eficiente en la que se lleva a cabo la polinización es cuando participan animales que se mueven entre las flores (Díaz *et al.* 2005). Este SE es el resultado de una relación mutualista (proceso en el que tanto los animales que realizan la polinización, como las plantas, se ven beneficiados), que suele involucrar diversas adaptaciones tanto en las flores como en los organismos involucrados en el transporte del polen. Generalmente, los animales encuentran en las flores alimentos

(néctar) o sitios especializados de crianza, mientras que las plantas cuentan con un medio de dispersión e intercambio de polen entre diferentes individuos, lo que garantiza la variabilidad genética de las poblaciones al evitar de esta manera la fecundación entre ejemplares con parentescos cercanos y consecuentemente genotipos similires (figura 24) (Jordano 1987). En México existen 171 plantas que son comúnmente cultivadas para consumir sus frutos y semillas. De ellas, 85% requiere de polinizadores para el éxito de su fructificación. De acuerdo a un estudio realizado en 108 de estas plantas, 60% depende fuertemente de los polinizadores y el resto tienen una dependencia baja (Ashworth *et al.* 2009). Los polinizadores también juegan un papel relevante en la reproducción de las plantas silvestres.

Al grupo de animales y plantas relacionados entre sí por el proceso del transporte de polen, se le conoce con el nombre de "sistemas de polinización" (Waser *et al.* 1996, Valiente-Banuet 2002). La mayoría de los sistemas de polinización son generalistas, es decir, las flores atraen y pueden ser fertilizadas por una variada gama de polinizadores como abejas, mariposas, abejorros, moscas, avispas, escarabajos, colibríes y murciélagos. (Waser *et al.* 1996). También existen sistemas muy especializados de polinización, en los que una sola especie animal se encarga de polinizar a una especie determinada de planta (Waser *et al.* 1996, Ollerton y Kamner 2002). Entre estos dos extremos hay muchas variaciones.



Figura 24. Colibrí (*Calypte costae*) durante el proceso de polinización de una flor. Al extraer el néctar transfiere granos de polen de una flor a otra(s). Foto: Víctor Hugo Luja/ Banco de imágenes CONABIO.

El alto grado de especialización encontrado en algunos sistemas de polinización, queda ejemplificado por algunas especies de higueras (*Ficus* spp.), que son polinizadas y sirven como sitios de crianza para especies de la familia Vespidae (figura 25), como la avispa de la higuera (*Blastophaga psenes*) (Terborgh 1986, Wiebes 1979). Otro ejemplo son las yucas (*Yucca* spp.) que son polinizadas de manera exclusiva por hembras de palomillas de la subfamilia Prodoxinae (Lepidoptera: Prodoxidae) (Kiester *et al.* 1984)

La mayor parte de las especies de cactáceas y agaváceas dependen de la polinización animal para su éxito reproductivo y sus polinizadores específicos incluyen murciélagos, aves e insectos (Valiente-Banuet 2002).

El SE de polinización tiene un efecto significativo sobre el servicio de provisión de alimentos. Asimismo, los recursos genéticos de las poblaciones vegetales son mantenidos en gran medida gracias al efecto de la polinización. Por su parte, los SE de hábitat y control biológico pueden llegar a tener un importante efecto sobre el de polinización.

Existe muy poca información relacionada con el SE de polinización en la ciudad. La diversidad de insectos polinizadores reportados asciende a más de mil especies, de las cuales alrededor de 50 tienen algún grado de endemismo, de acuerdo con los capítulos "Mariposas diurnas", "Abejas y avispas" y "Palomillas o mariposas nocturnas" que se incluyen en esta obra, cifras que permiten identificar la importancia de este grupo taxonómico en la zona.

Al igual que en el resto del mundo, las abejas y avispas son el principal grupo de insectos polinizadores de las plantas con flores (Kremen 2004, Williams *et al.* 1991). En esta región existen 124 especies de abejas y 152 de avispas (Yáñez-Ordóñez e Hinojosa-Díaz 2004). Una especie de gran importancia para este SE es la abeja italiana (*Apis mellifera*) ya



Figura 25. Avispa (*familia Vespidae*) polinizando flores. Foto: Humberto Bahena Basave/Banco de Imágenes de CONABIO.

sea pura o acriollada (Rivera *et al.* 2007). Esta especie fue introducida de Europa por los españoles durante el siglo XVI, y su crianza está ampliamente difundida en la actualidad (figura 26) (Villegas *et al.* 2001).

La abeja italiana es responsable de polinizar 30% de los alimentos consumidos por el hombre a nivel mundial. Sin embargo, sus poblaciones están sufriendo un proceso de africanización, consistente en un cruzamiento natural que las abejas locales de origen europeo han tenido con las abejas introducidas desde África. Las abejas africanizadas tienen una apariencia similar a las europeas pero producen menos miel y son sumamente agresivas (Uribe *et al.* 2003, Payro 2011), lo que las hace riesgosas para los humanos (Rivera *et al.* 2007).

En la entidad existen 101 unidades de producción apícola, que concentran 2 027 colmenas de abejas italianas (INEGI 2011*b*). En esa zona la cosecha de miel contribuye a la polinización del nopal verdura cuando las abejas aprovechan su floración, principalmente en mayo, a finales de la temporada de sequía. De octubre a noviembre, las abejas ayudan a la polinización de una gran diversidad de cultivos y flores silvestres, siendo ésta la temporada de mayor producción de miel, cera y propóleo (Rivera *et al.* 2007).

En zonas urbanizadas de la capital, la apicultura disminuyó por el conflicto que plantea la convivencia de personas y abejas, así como por la afectación en las poblaciones de abejas debido a la contaminación atmosférica, los insecticidas y la disminución de las comunidades de plantas (Rivera *et al.* 2007). En las zonas rurales o periurbanas la aparición de abejas aumenta por la presencia de cultivos de maíz, nopal, frutas y verduras (Rivera 2002). Para los productores, las colmenas tienen el doble propósito de producir miel y servir como polinizadoras a los cultivos aledaños; los cajones de producción de miel



Figura 26. Abeja italiana (*Apis mellifera*) polinizando un girasol silvestre fuera de la zona urbana de la ciudad. Foto: Verónica Aguilar.

suelen mantenerse fuera de los poblados para disminuir el contacto entre las abejas y las personas (Rivera *et al*. 2007).

Uno de los factores que pueden disminuir la capacidad de las abejas italianas para polinizar, es su mortandad por enfermedades como: diarrea (60%), infecciones parasitarias por *Ascaris* (20%) o por bacterias que provocan la enfermedad conocida como loque americana (*Paenibacillus larvae*, 10%) y loque europea (*Melissococcus plutón*, 10%) (Rivera *et al*. 2007). También pueden verse afectadas por el uso de agroquímicos (Rivera 2002).

Además de las abejas hay otros insectos polinizadores como es el caso de las mariposas; para muchas de ellas su alimento principal es el néctar de las flores. De acuerdo a una revisión histórica, existen 137 especies reportadas para la cuenca de México (Luis-Martínez y Llorente-Bousquets 1990).

Aunque los estudios existentes no se hicieron específicamente para la Ciudad de México, sí se puede identificar la importancia de este grupo taxonómico en la zona.

Existen algunos estudios aislados sobre la diversidad de especies de mariposas en sitios específicos de la Ciudad de México. Por ejemplo, en el bosque de Chapultepec se tienen reportadas 80 especies de mariposas diurnas, pertenecientes a cinco familias y 61 géneros. Tres de las mariposas más comunes en el bosque son la mariposa de la col (*Leptophobia aripa elodia*), el satírido borde colorado (*Gyrocheilus patrobas patrobas*) y la mariposa mexicana azul (*Hemiargus isola isola*) (figura 27) (SMA 2004).

En la cañada de los Dinamos, delegación La Magdalena Contreras, se tienen registradas 65 especies de mariposas, 38 de las cuales son residentes de la zona, 10 se encontraron de





Figura 27. Mariposas comúnmente presentes en el bosque de Chapultepec. Izquierda: Satírido borde colorado (*Gyrocheilus patrobas*), derecha: mariposa mexicana azul (*Hemyargus isola*). Foto: Jorge Rickards/Banco de imágenes CONABIO, Carlos Galindo Leal/Banco de imágenes CONABIO.

manera casual y 17 son migratorias. Los meses en que hay más flores (agosto a octubre), son los que presentan un mayor número de especies y de individuos de cada especie. Las especies que más comúnmente son: mexicana azul (*Hemiargus isola isola*), azul ladón (*Celastrina ladon gozora*), blanca nimbice (*Catasticta nimbice nimbice*), capulmimichis (*C. teutila teutila*), sátiro mexicano de los pinos (*Paramacera xicaque xicaque*) (figura 28) y sátiro de Nabokov (*Cyllopsis henshawi hoffmanni*) (Luis-Martínez y Llorente-Bousquets 1990).

Otro grupo importante para la polinización son las aves, especialmente de la familia Trochilidae (colibríes). Estas aves se alimentan introduciendo su pico largo y delgado en la corola de las flores, de donde obtienen néctar (motivo por el cual se llaman nectarívoras), lo cual provoca que el polen sea transportado de manera casual hacia otras flores. En la ciudad se encuentran las siguientes especies: verdemar (*Colibrí thalassinus*), chupamirto prieto (*Cynanthus sordidus*), colibrí piquiancho (*Cynanthus latirostris*), chupaflor orejiblanco (*Hylocharis leucotis*), chupaflor de berilo (*Amazilia beryllina*), chupaflor garganta azul (*Lampornis clemenciae*), chupaflor magnífico (*Eugenes fulgens*), chupaflor de golilla (*Calothorax lucifer*), chupaflor rubí (*Archilochus colubris*) (figura 29), chupaflor cola ancha (*Selasphorus platycercus*) y chupaflor dorado (*Selasphorus rufus*) (UAEM y SMA 2010).

La polinización que realizan los colibríes se afecta por el uso de bebederos con agua azucarada que se colocan en los jardines domésticos (figura 30) (True 1993). Esta práctica aumentó la densidad y diversidad de colibríes en los hábitats urbanos y suburbanos, pero afectó a las plantas nativas de las cuales antes se alimentaban y ahora visitan con menor frecuencia (Arizmendi *et al.* 2007). En un estudio se evaluó el efecto de los bebederos de colibríes sobre la polinización de dos especies de plantas silvestres (*Salvia fulgens* y *S. mexicana*) en el parque nacional Cumbres del Ajusco, situado al sur de la ciudad, y se encontró que las plantas cercanas a los alimentadores tuvieron una reducción significativa en el número de visitas de colibríes. Esto provocó que S. fulgens produjera menos semillas, debido a que la especie es altamente dependiente de la polinización de los colibríes, mientras que S. mexicana no fue afectada, por haber sido polinizada también por abejas (Arizmendi *et al.* 2008). Estos datos es importante evaluaros a una escala mayor.

Los murciélagos que incluyen en su dieta néctar y polen también son importantes para los procesos de polinización. En la ciudad se tienen los registros de las siguientes especies que participan en la polinización de plantas: murciélago lengüilargo sin cola (*Anoura geoffroyi*), murciélago trompudo (*Choeronycteris mexicana*) (figura 31),





Figura 28. Mariposas comúnmente encontradas en la cañada de los Dinamos, en la delegación La Magdalena Contreras. Izquierda: blanca nimbice (*Catasticta nimbice*), derecha: sátiro mexicano de los pinos (*Paramacera xicaque*). Ilustraciones: Jorge Rickards/ Banco de imágenes CONABIO.





Figura 29. Dos especies de colibríes comunes en la Ciudad de México. Izquierda: verdemar (*Colibri thalassinus*), derecha: chupaflor rubí (*Archilochus colubris*). Ilustración: Marco Antonio Pineda Maldonado/Banco de imágenes de CONABIO, Manuel Grosselet/Banco de imágenes CONABIO.

murciélago lengüetón de Pallas (*Glossophaga soricina*) y murciélago magueyero (*Leptonycteris curasoae*) (UAEM y SMA 2010).

Conclusión

Las interacciones entre diversas especies como insectos, aves y mamíferos son necesarias para el proceso de la polinización de plantas, que a su vez es básico para la generación de otros SE.

La fragmentación y la pérdida de hábitat son factores importantes para el deterioro del SE de polinización en la ciudad. En los últimos años se registró una dramática reducción en las poblaciones de abejas, colibríes, murciélagos, mariposas, palomillas nocturnas, avispas, moscas y escarabajos polinizadores, lo que sugiere una posible crisis para muchas especies vegetales, por el declive de las poblaciones de polinizadores (CSPNA 2007). Ante esta situación se requieren prácticas de conservación que tomen en cuenta la especificidad de las especies nativas de la entidad.

Se debe evitar el uso de pesticidas que puedan afectar a estos organismos y la destrucción de cuevas en donde habitan murciélagos, además de procurar la conectividad de hábitats para los polinizadores (Ashworth *et al.* 2009). Dichas prácticas de conservación de polinizadores nativos deben acompañarse de la promoción de una nueva concepción de las conexiones en la naturaleza y el manejo del uso del suelo por parte de las comunidades rurales. Entre



Figura 30. Colibrí chupaflor de berilo (*Amazilla beryllina*) sobre un bebedero para alimentarse en la zona urbana de la ciudad. Foto: Carlos Galindo Leal/Banco de imágenes CONABIO.

ellas se puede establecer programas de pago por servicios ecosistémicos dirigido a las comunidades, ejidos e individuos, que fomenten la conservación de las interacciones de las cuales depende el SE de la polinización (Ashworth *et al.* 2009).

Control de enfermedades humanas

El SE de control de enfermedades humanas es un conjunto de procesos ecológicos que regulan el número de portadores de enfermedades que pueden dañar a los humanos (Díaz *et al.* 2005). Los cambios en los ecosistemas pueden afectar directamente la abundancia de agentes patógenos como es el caso de la malaria, y pueden alterar significativamente la abundancia de portadores de enfermedades como los mosquitos (MA 2003*b*).

Los SE de regulación de la calidad del aire y el agua, y los de regulación del clima y de flujos de agua, tienen un efecto significativo sobre el control de enfermedades humanas al igual que los SE de hábitat y control biológico. Recientemente, se reconoció que la biodiversidad juega un papel fundamental en el control y prevención de enfermedades. Estudios teóricos y empíricos demuestran que los altos niveles de diversidad de especies reducen y amortiguan la transmisión directa e indirecta de enfermedades infecciosas, que se transfieren a través de distintas formas, tanto a humanos como a especies silvestres (cuadro 12). Algunas de estas enfermedades son de gran relevancia para la salud pública por ser transmitidas de animales a seres humanos (zoonosis). Un par de ejemplos típicos de este tipo de afectaciones son el síndrome cardiopulmonar por hantavirus (SCPH) o la enfermedad de Lyme (Suzán *et al.* 2001, Gordillo-Pérez *et al.* 2003).

Diversos estudios sugieren que los brotes epidémicos de diversas enfermedades transmitidas de animales a seres humanos están relacionados con el desarrollo de las sociedades modernas, porque se incrementa la movilidad de las poblaciones humanas, la destrucción de ecosistemas, la pérdida de biodiversidad, el cambio climático y la introducción de especies





Figura 31. Ejemplos de especies de murciélagos de la ciudad. Izquierda: murciélago lengüilargo sin cola (*Anoura geoffroyi*) y derecha: murciélago trompudo (*Choeronycteris mexicana*). Foto: Carlos López González y Armando Monsiváis Saldaña/Banco de imágenes CONABIO.

exóticas, lo que produce una modificación de los patrones de distribución de los transmisores y portadores de las enfermedades, dando lugar a brotes de enfermedades donde antes no ocurrían (cuadro 13) (Engelthaler *et al.* 1999, Daszak *et al.* 2000, Suzán *et al.* 2009).

El área metropolitana de la Ciudad de México constituye un modelo relevante para analizar el impacto de los diversos factores en la dinámica de enfermedades infecciosas. El paisaje de la ciudad incluye fragmentos de vegetación nativa e introducida de diversos tamaños, formas y grados de aislamiento. Las características y distribución de estos fragmentos, en combinación con la complejidad de los espacios urbanizados, favorecen la interacción entre humanos, especies silvestres nativas, exóticas y ferales. Estas interacciones, a su vez, facilitan el transporte y transmisión de patógenos, posibilitando la persistencia de enfermedades como rabia, toxoplasmosis, leptospirosis, histoplasmosis y una gran variedad de enfermedades parasitarias (parasitosis) (Suzán y Ceballos 2005, Bradley y Altizer 2006, Herrejón *et al.* 2009, Pacheco-Coronel 2010). Estas enfermedades pueden afectar a especies domésticas, silvestres y al hombre, y se reportan constantemente en especies nativas tolerantes a niveles moderados de urbanización como es el caso de tlacuaches, cacomixtles, mapaches, zorrillos y murciélagos (Loza-Rubio *et al.* 2000, Acha y Szyfres 2003, Ávila-Flores y Frenton 2005, De Mattos *et al.* 2006, Taylor *et al.* 2008, Castellanos-Morales *et al.* 2009, Hortelano-Moncada *et al.* 2009, Ramos-Rendón 2010, Pacheco-Coronel 2010).

La Organización Panamericana de la Salud (PAHO, por sus siglas en inglés), estableció un listado de agentes de contagio de enfermedades transmitidas de animales a seres humanos (PAHO 2001). De este listado, destacan los agentes virales, bacterianos y parasitarios, que son los que se tomaron como base para realizar este diagnóstico del SE de control de enfermedades zoonóticas en la entidad.

Enfermedades zoonóticas causadas por virus

En la Ciudad de México se tiene el registro de reportes relacionados con tres agentes virales: hantavirus, influenza y rabia (cuadro 14), entre los años 2000 al 2009. Cinco de estos reportes hacen referencia a casos en humanos (rabia, influenza AH1N1 e influenza A sin especificar variedad), y cinco son reportes en animales

Cuadro 12. Mecanismos de control y amortiguamiento de enfermedades de origen animal.

Servicio	Mecanismo de acción
Efecto de dilución	Existe menor prevalencia de enfermedades en comunidades con gran diversidad de especies, ya que muchas de ellas actúan como portadores no transmisores de diversos agentes patógenos, frenando la diseminación de la enfermedad.
Control de poblaciones de portadores por medio de depredadores	Una mayor diversidad de depredadores, regula a las poblaciones de especies potencialmente portadoras de agentes patógenos (e.g. roedores). Si se eliminan los depredadores aumenta el número de portadores transmisores, favoreciendo la diseminación de agentes patógenos.
Control de poblaciones de portadores por especies competidoras	La presencia de especies competidoras, regula a las poblaciones de especies portadoras transmisoras de patógenos, disminuyendo la diseminación de la enfermedad.
Reducción de contacto entre portadores	La diversidad de especies dentro de una comunidad, reduce la posibilidad de interacción entre especies que actúan como portadores transmisores de alguna enfermedad, disminuyendo así la posibilidad de transmisión del agente patógeno.

Fuente: Lo Giudice *et al.* 2003, Ostfeld y Holt 2004, Suzán *et al.* 2009, Keesing *et al.* 2006.

Cuadro 13. Factores que propician brotes epidémicos y sus efectos en la dinámica de enfermedades.

Factor	Efectos
Cambio climático	Modifica los patrones de distribución de los portadores y transmisores de enfermedades, lo que ocasiona que se presenten brotes donde antes no ocurrían
Fragmentación y pérdida de hábitat	Reduce la diversidad de especies que pueden amortiguar el efecto de algunas enfermedades. Incrementa la exposición de los humanos a patógenos a los que anteriormente no se enfrentaban
Pérdida de la diversidad de especies	Disminuye el amortiguamiento de enfermedades y control de portadores transmisores de patógenos
Introducción de especies exóticas y ferales	Cambia la distribución de patógenos y portadores de enfermedades
Aumento del contacto entre humanos, fauna silvestre y animales domésticos	Incrementa la exposición a patógenos a los que antes no estaban expuestos

Fuente: Engelthaler *et al.* 1999, Daszak *et al.* 2000, Dobson y Foufopoulos 2001, Langlois *et al.* 2001, Feldmann *et al.* 2002, Yates *et al.* 2002, Dobson 2004, Ruedas *et al.* 2004, Goodin *et al.* 2006, Peixoto y Abramson 2006, Suzán *et al.* 2006, Suzán *et al.* 2009.

(rabia y hantavirus). Cuatro de los reportes en animales se refieren a mamíferos silvestres (rabia y hantavirus) y un caso a perros (rabia).

El virus más frecuente en los reportes fue el de la rabia, que presenta dos tipos de ciclo epidemiológico, uno silvestre y uno urbano, siendo los portadores principales los murciélagos (hematófagos —aquellos que se alimentan de sangre— y los no hematófagos), y el perro, respectivamente (Loza-Rubio *et al.* 1999). El control canino produjo una considerable disminución en el promedio anual de muertes humanas provocadas por el virus rábico en México (de 70 muertes por año en la década de los noventa, a solo tres muertes en 2010). La cantidad de casos atribuibles al contacto con especies silvestres se ha incrementado en los últimos años (Velasco-Villa *et al.* 2006, SS 2010). Por ejemplo, mientras que de 1990 a 1994 se reportaron 20 casos relacionados con murciélagos a nivel nacional, en el período de 1995 a 2000 se reportaron 30 (SS 2001).

El virus de la influenza, ha sido reportado en tres publicaciones, dos de las cuales se refieren a AH1N1 y una más a los tipos A y B. Se sugiere que la ocurrencia de este virus se asocia a la presencia de cerdos y aves de corral. Los tres brotes pandémicos de influenza del siglo XX (1918, 1957 y 1968) se originaron a partir de mutaciones de virus que tuvieron a las aves como portador natural. En el caso del virus AH1N1, la transmisión hacia los humanos pudo haber ocurrido a partir de cerdos de producción (Garten *et al.* 2009); posteriormente las mutaciones ocurridas en el virus facilitaron la transmisión de persona a persona (Smith *et al.* 2009).

El hantavirus es otro agente viral que se reporta en la Ciudad de México, el cual está asociado a roedores de Europa, Asia y América; se transmite al humano por mordedura, inhalación de partículas muy pequeñas, a través de heridas o por contacto con mucosas (Mills *et al.* 1997). Produce dos tipos de cuadros clínicos: una fiebre viral hemorrágica, con o sin afección a los riñones, o bien, una enfermedad pulmonar. En América se conoce como “síndrome cardiopulmonar por hantavirus” y produce una infección respiratoria aguda que ha resultado en mortalidades hasta del 80% (Trilla y Fernández 2000). Este virus se reporta

Cuadro 14. Reportes de enfermedades transmitidas de animales a seres humanos por agentes de contagio virales en la entidad.

Población de estudio	Resultados principales	Factor asociado a su ocurrencia
33 Roedores del Ajusco.	Un *Peromyscus maniculatus* y un *Reithrodontomys sumichrasti* presentaron anticuerpos contra SNV.	· Especies invasoras. · Fragmentación de hábitat. · Aumento en tasa de contacto entre especies domésticas y humanos.
1 918 personas con sospecha de ser portadoras del virus AH1N1.	La ciudad de México fue una de las zonas con mayor número de casos positivos (213 individuos).	· Invasión. · Introducción de especies domésticas. · Aumento de contacto entre especies domésticas, silvestres y humanos.
98 pacientes con enfermedad respiratoria aguda.	Se registraron 18 pacientes positivos a Influenza AH1N1, de los cuales 7 murieron.	
300 niños de 0 a 4 años, atendidos en el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias.	Se detectaron 252 niños con infección viral, 64 de ellos con infección mixta por bacterias y virus. Influenza A; Influenza B; Parainfluenza y Virus Sincitial Respiratorio.	
Muestras de ganado, gatos y humanos, colectadas en 18 estados del país, inlcluida la Ciudad de México.	Una muestra corresponde a un caso en la Ciudad de México, aislado de un murciélago de la especie *Tadarida brasiliensis*.	· Invasión. · Aumento de contacto entre especies domésticas, silvestres y humanos.
Se analizaron 254 muestras, 148 corresponden a nueve especies portadoras no transmisoras y 106 de seis especies portadoras transmisoras	Se encontró una variante del virus en dos casos humanos en la Ciudad de México, en los años 1993 y 1994 respectivamente. El resultado coincide con la variante que predomina en la ciudad y en la que se asocia como transmisor principal al perro.	Invasión de especies ferales
Se analizaron 138 secuencias de ADN del virus, incluyendo 61 muestras de 1999 a 2002 de 20 estados del país y 77 muestras de tejidos de animales contagiados	En la Ciudad de México se encontraron dos perros con la variedad del virus rábico AgV1.	· Introducción de especies exóticas. · Aumento en el contacto entre animales ferales y silvestres.
68 mamíferos medianos ferales y silvestres de ocho especies distintas, capturados en dos áreas naturales protegidas ubicadas en los límites de la ciudad de México.	Se registró baja prevalencia del virus de la rabia (17.9%).	· Invasión. · Introducción de especies invasoras. · Aumento del contacto entre animales ferales y silvestres.
Un murciélago de la ciudad de México. Tadarida brasiliensis.	El murciélago fue positivo para el diagnóstico de rabia.	· Invasión. · Aumento del contacto entre animales domésticos, silvestres y humanos.

Fuente: Loza-Rubio *et al.* 2000, Suzán *et al.* 2001, Velasco-Villa *et al.* 2002, Cabello *et al.* 2006, Suzán y Ceballos 2005, Velasco-Villa *et al.* 2005, Pérez-Padilla *et al.* 2009.

en la subfamilia de roedores Sigmodontinae, representada por al menos 64 especies en México, distribuidas en una amplia región del país, incluyendo la ciudad en donde se tiene el registro de ocho especies de esta subfamilia, en remanentes de vegetación dentro del área urbana. (Suzán *et al.* 2001, Sánchez-Cordero *et al.* 2005, Hortelano-Moncada *et al.* 2009).

Enfermedades zoonóticas causadas por bacterias

Entre 1977 y 2009, se registraron un total de 12 reportes de enfermedades zoonóticas causadas por bacterias (cuadro 15), así como dos casos de infección bacteriana en poblaciones de perros ferales (*Brucella* spp. y *Leptospira* spp.),

dos en animales de zoológico (*Brucella* spp. y *Leptospira* spp.), cuatro en humanos (*Salmonella* spp. y *Borrelia burgdorferi*), tres asociados a productos para consumo humano (*Brucella* spp., *Salmonella* spp. y *Leptospira* spp.) y un reporte de contaminación en agua por coliformes (*Escherichia coli*, *Klebsiella* spp., *Salmonella* spp., *Enterobacter* spp., *Enterococcus* spp. y *Pseudomonas* spp.).

Uno de los agentes bacterianos reportados es la *Brucella* spp. que causa la fiebre de Malta o brucelosis, distribuida ampliamente en todo el mundo (Flores-Castro *et al.* 1977). Cuando se presenta afecta a una gran proporción de las poblaciones, tanto humanas como de animales domésticos y silvestres. Es una causa importante de pérdidas económicas en la industria ganadera nacional y representa un serio problema de salud pública (Gil y Samartino 2001). Aunque esta enfermedad afecta principalmente a los animales, se transmite al humano de manera incidental, frecuentemente por consumo de leche, queso fresco y otros derivados lácteos de origen caprino que no fueron sometidos a ningún proceso de esterilización como la pasteurización. Por lo anterior, es común que se presenten casos de brucelosis (incluso en áreas en donde la enfermedad no es común), como consecuencia de la importación y exportación de productos contaminados (Solorio-Rivera *et al.* 2007).

Otra enfermedad bacteriana que ha sido reportada en la ciudad es la ictericia de Weill o leptospirosis, provocada por más de 200 variedades de la bacteria *Leptospira*. La leptospirosis podría representar la enfermedad transmitida de animales a seres humanos por agentes bacterianos más ampliamente distribuida en todo el mundo (Langston y Heuter 2003). Este patógeno es un problema de salud pública que volvió a emerger en los últimos años de forma importante en zonas urbanas (Reis *et al.* 2008). Se tiene registro de epidemias urbanas en grandes ciudades de países subdesarrollados, por lo general durante la época de lluvias (Barcellos y Sabroza 2000, Velasco-Castrejón *et al.* 2009). En la naturaleza, la leptospirosis se mantiene en portadores no transmisores, o bien transmisores que eliminan a la bacteria a través de la orina, provocando el contagio por contacto directo; normalmente cuando los portadores se contagian a edad temprana no desarrollan síntomas clínicos. Asimismo, esta enfermedad puede transmitirse a portadores incidentales (como el hombre) por contacto directo o indirecto. Hace algún tiempo, la leptospirosis se asoció exclusivamente a ratas y perros. Sin embargo, recientemente se encontraron muchas especies silvestres que son portadores de esta enfermedad, incluyendo mamíferos comunes en las áreas periurbanas de la Ciudad de México como tlacuaches, cacomixtles y una gran variedad de roedores y murciélagos (Vado et al. 2002).

Un estudio realizado en el agua de los canales de Xochimilco (figura 32), reporta diversas especies de bacterias coliformes asociadas a contaminación fecal por humanos y animales (Mazari-Hiriart *et al.* 2008). Los agentes bacterianos reportados son *Escherichia coli*, *Klebsiella* spp., *Enterobacter* spp., *Enterococcus* spp., *Pseudomonas* spp. y *Salmonella* spp., los cuales constituyen un serio problema de salud pública, que se relacionan con problemas gastrointestinales fuertes en la población. Algunas bacterias del género *Salmonella* se reportan en alimentos como huevo y quesos que son comercializados en la ciudad, aunque muchos de estos productos llegan a la capital, procedentes de distintos estados del país.

Enfermedades zoonóticas causadas por parásitos

De 1977 a 2010, se registraron 21 reportes de enfermedades asociadas a 16 agentes parasitarios diferentes (cuadro 16). El mayor número de reportes (8) corresponden a endoparásitos de perros tanto domésticos como ferales (*Toxocara* spp., *Ancylostoma caninum*, *Diphylidium caninum*, *Taenia* spp., *Echinococcus* spp., *Mesocestoides* spp., *Toxascaris* sp., *Giardia*

Cuadro 15. Reportes de enfermedades transmitidas de animales a seres humanos por agentes de contagio bacteriano en la Ciudad de México.

Agente de contagio	Población de estudio	Resultados principales	Factor asociado a su ocurrencia
Brucella sp.	59 perros ferales de la Ciudad de México.	Alta incidencia (11.8%) de *Brucella canis* en perros ferales de la ciudad.	· Aumento del contacto entre animales domésticos y ferales. · Introducción de especies exóticas.
	16 herbívoros y 13 carnívoros del Zoológico de Chapultepec.	Diez herbívoros y un carnívoro con posibilidad de presencia de *Brucella* spp, pero no se confirmó, porque no se aisló la bacteria.	· Introducción de especies exóticas. · Aumento del contacto entre especies silvestres y domésticas.
Leptospira sp.	135 perros callejeros de centros de control canino de la ciudad.	El 38.51% de la población monitoreada resultó positiva a una o más variedades de *Leptospira*. Las variedades más comúnmente detectadas fueron: *L. castellonis* (50%), *L. pyrogenes* (38.46%) y *L. canicola* (26.92%).	· Introducción de especies exóticas e invasoras. · Aumento del contacto entre especies silvestres, domésticas y humanos.
	27 venados cola blanca (*Odocoileus virginianus*) del Zoológico de Chapultepec.	Se realizó una prueba para 17 variedades de *Leptospira interrogans*, encontrando positivos a once de ellas. Además 23 de 27 casos (85.1%) fueron positivos a una o más variedades. Las variedades más comunes fueron: *Leptospira autumnalis*, *L. icterohaemorrhagiae* y *L. pomona*	
	374 pacientes humanos con diagnóstico clínico de leptospirosis crónica de más de seis meses de evolución.	El 75.7% de los pacientes presentaron deficiencia de anticuerpos. Se detectó la eliminación del virus por orina y sangre en el 85% de los individuos. El 82% de los cultivos fueron positivos, a *Leptospira pomona*. Se observaron leptospiras en 87% de los tejidos de los individuos fallecidos.	
	Estudio retrospectivo de presencia de leptospirosis bovina en varios estados de México, incluida la Ciudad de México	Las variedades con mayor prevalencia fueron cepa Palo Alto (*icterohaemorrhagiae*), cepa Sinaloa ACR (*portland-vere*), *bratislava*, *pyrogenes*, *pomona*, cepa H-89 (*hardjo*), *hardjo*, *wolffi* y *tarassovi* .	
Salmonella sp.	Monitoreo en 254 donadores de sangre.	Se detectaron anticuerpos para nueve serovariedades de *Leptospira*; *shermani* y *ponama* fueron las más frecuentes.	
	Monitoreo de 400 huevos de 10 marcas comerciales.	El 0.25 % de la muestra contenía *Salmonella enteritidis*, dato que sugiere que en México 25 de cada 10 mil huevos pueden estar contaminados con esta bacteria.	· Contaminación.
	Monitoreo de 120 quesos frescos y semimadurados de venta en "mercados sobre ruedas".	Del total de muestras analizadas sólo tres resultaron positivas a la presencia de *Salmonella* spp.	
	24 394 muestras de suero obtenidas de diversos laboratorios públicos y privados de la República Mexicana, incluido el Distrito Federal. De entre 1972 y 1999, 15 843 (64.9%) de origen humano y 8 551(35.1%) de origen no humano.	Se identificaron 199 variedades, la más frecuente en muestras clínicas fue *S. typhimurium* (20.4%) y en segundo lugar, *S. enteritidis* (13.3%).	· Introducción de especies exóticas e invasoras. · Aumento del contacto entre especies silvestres, domésticas y humanos.
	Monitoreo en canales de agua en Xochiimilco.	Se encontraron coliformes asociadas a contaminación fecal de humanos y animales domésticos. Entre ellas *Salmonella* spp.	
Borrelia burgdorferi	Sueros de 2 346 individuos procedentes de comunidades urbanas y rurales de tres estados de la República y el Distrito Federal.	Se detectó la presencia de *Borrelia burgdorferi* en el 3.43% de las muestras.	· Invasión. · Introducción de especies invasoras. · Aumento del contacto entre especies silvestres, domésticas y humanos.
Otros	Se muestrearon canales de agua en Xochimilco.	Se encontraron coliformes asociadas a contaminación fecal de humanos y animales domésticos. *Escherichia coli*, *Klebsiella* spp., *Enterobacter* spp., *Enterococcus* y *Pseudomonas* spp; *H. pylori* estuvo también presente en agua.	· Introducción de especies exóticas e invasoras. · Aumento del contacto entre especies silvestres, domésticas y humanos. · Contaminación.

Fuente: Flores-Castro *et al.* 1977, García *et al.* 1992, Diéguez y Alfonseca 1995, Rivera *et al.* 1999, Gutiérrez-Cogco *et al.* 2000, Gordillo-Pérez *et al.* 2003, Luna *et al.* 2005, Mancera *et al.* 2005, Alcázar *et al.* 2006, Benavides *et al.* 2006, Velasco-Castrejón *et al.* 2009, Mazari-Hiriart *et al.* 2008.

sp.), siete de humanos (*Cryptosporidium* spp., *Giardia* spp., *Entamoeba* spp., *Taenia solium*, *Ascaris* spp., *Trypanosoma cruzi*, *Fasciola hepatica*, *Echinococcus* sp.), dos de gatos (*Toxocara cati*, *Toxoplasma gondii*), uno de roedores (*Trichinella spiralis*) y uno de animales de zoológico (*Balantidium coli*).

La toxoplasmosis es una enfermedad causada por *Toxoplasma gondii*, parásito unicelular capaz de infectar al ser humano y a una gran variedad de animales, que se transmite por contacto con heces de gato o por consumo de carne cruda de mamíferos y aves. Este parásito no se considera dañino (30% de los humanos lo tiene y más del 90% de ellos nunca lo sabe). Anteriormente, su importancia se restringía a problemas en mujeres embarazadas; sin embargo, con el surgimiento de la epidemia de VIH y la generalización del uso de inmunosupresores como tratamientos en trasplantes y cáncer, este parásito cobró importancia por ser ubicuo y de fácil transmisión, características que favorecen su dispersión y el desarrollo de infección en individuos altamente susceptibles como personas inmuno-suprimidas.

Durante su desarrollo, este parásito tiene una fase en el intestino de gatos domésticos o silvestres, en donde se multiplica para posteriormente ser eliminado a través de las heces. Para el humano la principal forma de infección sucede al ingerir alimentos y agua contaminados con el quiste. Una vez que el parásito se encuentra dentro del paciente (humano o animal), comienza a reproducirse rápidamente; pero la mayoría de los parásitos muere por la acción de las defensas del paciente. Aquellos parásitos que sobreviven, forman una capa gruesa o quiste que los protege de la destrucción de por vida, con lo que logran establecerse exitosamente dentro del paciente. Sólo en caso de que las defensas del paciente disminuyan la infección se reactiva, produciendo daño en los tejidos.

Esta enfermedad se describió en México desde la década de los cincuenta, y en 1987 se demostró 32% de incidencia a nivel nacional.



Figura 32. Canales de Xochimilco al sur de la ciudad, de donde se extrae agua para regar cultivos a pesar del reporte de diversas especies de bacterias coliformes. Foto: Carlos Sánchez Pereyra/Banco de imágenes CONABIO.

Cuadro 16. Reportes de enfermedades transmitidas de animales a seres humanos por agentes de contagio parasitarios en la Ciudad de México.

Agente de contagio	Población de estudio	Resultados principales	Factor asociado a su ocurrencia
Gusanos planos (Cestodos)	Monitoreo en 120 perros ferales de centros de control canino.	*Dipylidium caninum* en 72 individuos (60%), *Taenia hydatigena* en tres individuos (2.5%), *Taenia pisiformis* en dos individuos (1.6%) y *Echinococcus granulosus*, *Mesocestoides vogae* y *Mesocestoides variabilis* en un individuo (0.83%).	· Introducción de especies exóticas y domésticas. · Aumento del contacto entre animales ferales, domésticos y humanos
	Monitoreo en 120 perros de centros de control canino.	*Ancylostoma caninum* en 75 individuos (62.5%), *Toxocara canis* en 16 individuos (13.3%), *Toxascaris leonina* en cinco individuos (4.16%).	
Gusanos redondos (Nemátodos)	Perros domésticos y ferales de las delegaciones Coyoacán, Tlalpan, Iztapalapa, Milpa Alta, Tláhuac y Xochimilco.	*Toxocara canis* en más del 28% de individuos en las delegaciones Xochimilco e Iztapalapa. También se detectó *Ancylostoma caninum* en Tláhuac y Milpa Alta.	· Introducción de especies exóticas y domésticas. · Aumento del contacto entre animales ferales, domésticos y humanos.
	Muestras de suelo y heces de perros con dueño en parques.	Elevada contaminación por *Toxocara*, 60% en las muestras del suelo colectadas en parques, 67% en heces colectadas en parques y 63.36% en heces de perros con propietarios.	
	Se analizaron heces de 520 gatos domésticos.	Se encontraron huevos de *Toxocara cati* en heces del 42.5% de los individuos muestreados.	
	Perros ferales de Iztacalco, Iztapalapa y Coyoacán.	La incidencia de perros infectados por *T. Canis* en Iztacalco fue del 61.2%, 51% en Iztapalapa y 90.7% en Coyoacán.	
Protozoarios	Muestras de heces de 200 niños atendidos en el IMSS.	Niños que presentaron infección por *Giardia lamblia* (50%), y por *Cryptosporidium* spp. y *Entamoeba histolytica* conjuntamente en un 41% de los casos.	· Introducción de especies exóticas y domésticas. · Aumento del contacto entre animales ferales, domésticos, silvestres y humanos.
	Muestras de perros de centros de control canino del sureste de la ciudad de México.	El 92% de los perros muestreados presentaron parásitos intestinales *Giardia intestinalis*.	
	Habitantes de una comunidad con asentamientos irregulares en la delegación La Magdalena Contreras	Las infecciones frecuentemente encontradas fueron por *Giardia* spp. (29.98%). *Entamoeba histolytica* (7.29%) y *Entamoeba coli*.	
	Revisión bibliográfica sobre presencia en humanos de infección por *Tripanosoma cruzi*	Presencia positiva en bancos de sangre, de donadores del 0.3% en la ciudad de México.	
	Estudio retrospectivo sobre la incidencia de la enfermedad de chagas en la Ciudad de México con 18 publicaciones entre 1928 y 2004.	983 casos, con una incidencia del 3.75% de 15 371 muestras.	
	169 gatos domésticos de la ciudad de México muestreados en clínicas veterinarias, de las 16 delegaciones de la Ciudad de México	Presencia de anticuerpos contra *Toxoplasma gondii* en 37 de las 169 muestras (21.9%). La relación entre frecuencia de casos positivos y dieta, fue alta en gatos alimentados con carne cruda.	
	Dos gorilas de tierras bajas del Zoológico de Chapultepec.	La parasitosis gastrointestinal por protozoarios como *Entamoeba histolytica* afecta a la mayoría de los primates en zoológicos.	
Helmintos	Habitantes de una comunidad con asentamientos irregulares de la delegación La Magdalena Contreras	Se determinó la presencia de las siguientes enfermedades: Ascariasis (9.04%); himenolepiasis (5.53%); tricocefalosis (3.91%), enterobiasis (1.48%).	· Introducción de especies exóticas y domésticas. · Aumento del contacto entre animales ferales, domésticos y humanos

Fuente: Gual y Pulido 1994, Martínez-Barbosa *et al.* 1998, Dumonteil 1999, Anaya *et al.* 2000, Martínez-Barbabosa *et al.* 2003, Eguía-Aguilar *et al.* 2005, Ponce-Macotela *et al.* 2005, Cruz-Reyes y Pickering-López 2006, Sánchez-Vega *et al.* (2006), Besné-Mérida *et al.* 2008, Martínez-Barbabosa *et al.* 2008, Romero *et al.* 2009.

En aquel año, se reportó una frecuencia de entre 20 y 29% para la Ciudad de México. Recientemente se analizaron muestras colectadas en 2000 y 2006, y se determinó que la infección aumento 10% en frecuencia aproximada en todo el país, mientras que en la ciudad se encontraron frecuencias mayores al 30% en ambas fechas (datos no publicados). Un dato alarmante encontrado en 2005 fue que dos de cada 1 000 recién nacidos de la entidad tenían toxoplasmosis congénita. La frecuencia de infección en gatos domésticos la Ciudad de México estudiados en 2006-2007 fue 22%, pero aunque esta frecuencia es aparentemente baja, hay que recalcar que no se incluyeron gatos ferales en dicho estudio (Besné-Mérida *et al.* 2008). Hoy en día la toxoplasmosis, cuya ocurrencia se asocia a la introducción de gatos ferales (identificados como los principales reservorios de esta enfermedad), se considera un problema de salud pública. Actualmente, el gato doméstico es la especie que mantiene la toxoplasmosis en estado silvestre, debido al incremento de sus poblaciones en áreas urbanas, suburbanas, rurales y naturales (que a su vez es un resultado de sus altas tasas de reproducción, así como de su gran adaptabilidad a diferentes fuentes de alimentación y a distintos tipos de hábitat) (Besné-Mérida *et al.* 2008).

Otra enfermedad parasitaria que afecta al ser humano y a una amplia gama de animales y es relevante en la Ciudad de México es la cisticercosis. Ésta se origina por la presencia de alguna fase de parásitos del género Taenia, el cual en su etapa adulta es la solitaria intestinal, mientras que en su etapa larvaria es el cisticerco. La infección sucede por ingerir carne de cerdo contaminada con larvas o cisticercos que, una vez establecidos en el paciente, se convertirán en tenias (*Taenia solium*). El cerdo se infecta al comer materia fecal contaminada con huevos de tenia; una vez en el intestino, las larvas recién nacidas atraviesan la mucosa, circulan y se transforman en cisticercos.

Al adquirir el humano la enfermadad por la ingesta de alimentos que fueron contaminados por portadores de la solitaria, el parásito se aloja principalmente en el cerebro y causa la enfermedad llamada neuro-cisticercosis. Prácticas como la "matanza de traspatio", relacionada con la crianza de cerdos en condiciones rurales, generan una alta incidencia de esta enfermedad, pero no hay reportes oficiales que indiquen esta tendencia. Estudios en México señalan que la frecuencia de la solitaria intestinal es de aproximadamente 0.5%, sin embargo, el sistema único de información para la vigilancia epidemiológica (SUIVE), reporta que la teniosis disminuyó de manera constante y pasó de 14 000 casos notificados en 1990, a tan solo 200 en 2009.

Actualmente, la urbanización redujo la crianza de traspatio y por consecuencia en la Ciudad de México prácticamente ya no hay cisticercosis porcina. En general, en las últimas décadas el adelanto en las condiciones de vida en México, así como los factores sociales, los económicos y de salud relacionados con la neuro-cisticercosis, mejoraron de manera sustantiva. Asímismo, las campañas preventivas que indican que la carne de cerdo debe comerse solo cuando está bien cocida debió influir en un mayor cuidado y en una menor ingestión de carne contaminada. Sin embargo, las afectaciones por la solitaria, no están erradicadas, por lo que es necesario mantener una vigilancia epidemiológica activa y medidas sanitarias y de educación para la salud, con el fin de conservar e incluso mejorar la situación actual. La introducción de especies domésticas como el cerdo, así como la contaminación generada por desechos humanos en el ambiente, puede mantener y perpetuar la enfermedad en la entidad. Su incremento o disminución depende en gran parte del manejo de los recursos relacionados con los SE de regulación, para mantener las condiciones de salubridad.

Conclusión

Se conoce poco sobre la dinámica de enfermedades en la fauna silvestre de la Ciudad de México. Sin embargo, la información recopilada sugiere que los patrones de urbanización modifican las interacciones entre las especies silvestres, las especies domésticas y las poblaciones humanas, aumentando la probabilidad de la incidencia y re-incidencia de enfermedades transmitidas de animales a seres humanos. En particular, la presencia de especies exóticas (domésticas y ferales) incrementa las probabilidades de infección tanto en humanos como en especies nativas. En algunos casos, las especies exóticas en áreas periurbanas contribuyen a la transferencia de agentes patógenos provenientes de otros sitios hacia la fauna silvestre, así como patógenos silvestres hacia poblaciones humanas. La falta de cuidado en el manejo de animales de granja y sus productos dentro de las ciudades también son factores que incrementan la probabilidad de infección en especies domésticas (mascotas) y en humanos.

Debido a la creciente modificación en la estructura, la función y la configuración de los ecosistemas naturales, la calidad de los SE de control de enfermedades en ambientes como el de la ciudad, se ven fuertemente afectados. El mantenimiento de los SE asociados a la conservación de la biodiversidad representa una de las mejores estrategias preventivas para evitar la incidencia de enfermedades transmitidas de animales a seres humanos, por lo que se recomienda tener en cuenta su importancia en el diseño de programas federales y estatales del sector salud. Estrategias de este tipo tendrían el potencial de limitar la invasión de especies exóticas y ferales, regular la invasión y el deterioro de ecosistemas por poblaciones humanas, así como reducir los efectos del cambio climático. En resumen, el mantenimiento de la biodiversidad incide directamente en la conservación de los SE en general, lo cual, se puede traducir en condiciones ambientales que facilitan el estado saludable de la población humana y de otras especies que habitan la cuenca de México.

Control biológico de plagas

Este servicio se refiere a la capacidad de los ecosistemas para mantener en niveles aceptables las poblaciones de organismos no deseados, gracias a la interrelación que existe entre los organismos parásitos, predadores y patógenos (Gilioli *et al*. 2012). En esencia, las relaciones entre distintas especies evitan que la población de algunas de ellas alcance niveles de plaga. Una plaga se define como una población (de microbios, hongos, plantas o animales), que al rebasar los límites de manejo genera daños a su entorno por el consumo desmedido de recursos (Van Lenteren 2006).

La regulación de plagas depende de la diversidad de sus enemigos naturales, de la diversidad de especies dentro de los ecosistemas y de la disposición espacial de los ecosistemas en el paisaje (Díaz *et al*. 2005). La fragmentación, la destrucción y la alteración de los ecosistemas modifican las condiciones en las que se dan los procesos de regulación y de control biológico sobre las plagas potenciales. De esta forma, la generación del SE de regulación de plagas y enfermedades se asocia a sitios con niveles de biodiversidad relativamente alta (Norris *et al*. 2010).

La provisión de alimentos y recursos maderables depende en gran medida de la existencia del SE de control biológico. Por otro lado, el hábitat es un servicio de soporte que influye en el adecuado funcionamiento del SE de control biológico (Balvanera y Cotler 2007).

Los principales sitios de generación de este servicio en la Ciudad de México son las áreas con vegetación natural, los suelos de cultivo y las áreas verdes en suelos urbanos (figura 33). Las áreas con vegetación natural en el SC, al tener un nivel menor de fragmentación, mayor extensión y biodiversidad, son las que tienen mayor capacidad de control biológico, mientras que las áreas verdes en suelos

urbanos, al estar muy fragmentadas, cubrir relativamente poca superficie y tener menor biodiversidad, son las que tienen menor capacidad de control biológico (PAOT e INIFAP 2010, SMA 2010*a*).

Plagas y enfermedades de plantas en áreas con vegetación natural

El SC tiene una extensión de 87 297.1 ha de las cuales aproximadamente 53% están cubiertas por vegetación natural que incluye bosques de coníferas (*Abies* sp., *Pinus* sp., *Cupressus* sp.) (figura 34), bosques de encino (*Quercus* sp.) y mixtos, así como matorrales y pastizales (GDF 2002).

No obstante su extensión, la proximidad del SC con la zona urbana de la entidad hace que los ecosistemas estén expuestos a una serie de factores ambientales negativos, como la presencia de contaminantes atmosféricos, el cambio de uso de suelo, la tala clandestina, los incendios forestales, la eliminación de flora y fauna nativos, y la introducción de especies exóticas. Estos factores debilitan a algunas especies y provocan la ausencia de otras que pueden tener un papel relevante en el control biológico, aumentando la vulnerabilidad de sufrir el ataque de plagas (Velasco *et al*. 2002).

Entre los años de 2000 y 2011 se diagnosticó el estado de la vegetación natural de 43 057 ha en la entidad. De éstas, 29% (12 586 ha) estuvieron afectadas por la presencia de plagas y enfermedades entre las cuales destacaron los insectos defoliadores (*e.g. Rothschildia orizaba* y *Calophya rubra*) y descortezadores (como, *Phloeosinus baumanni*, *P. tacubayae*, *Hylesinus aztecus*, *Phloeosinus taxodii taxodiicolens*, *Dendroctonus adjunctus*, *D. valens*, *Ips mexicanus*, I. *bonanseai*), así como muérdago, roya, pudriciones de raíz y fuste, y la enfermedad del declinamiento del encino (usualmente asociada con la infección de diferentes hongos que pudren la madera del tronco, ramas principales y sistema radicular). Al hacer la comparación con lo acontecido en el resto del país para el mismo periodo, de las 25 158 124 ha que fueron diagnosticadas a nivel nacional, 2.44% (614 968 ha) sufrieron los efectos de plagas y enfermedades (SEMARNAT 2012). Este puede ser un indicador de que la proximidad de la zona urbana de la entidad tiene un marcado impacto sobre el SC, que podría considerarse como la principal explicación de las diferencias tan marcadas entre los datos para la ciudad y los obtenidos para resto del país, sin embargo es necesario realizar más estudios al respecto.

De acuerdo a Velasco y colaboradoers (2002), dentro de las áreas de la Ciudad de México con vegetación predominantemente forestal, los bosques de pino (*Pinus hartwegii*) (figura 35), son los más atacados. Las principales plagas son la ardilla gris (*Sciurus* sp.), que suele ser depredadora de los conos afectando la capacidad reproductiva de los pinos (figura 36) y el hongo (*Lophodermium* sp.) que causa la enfermedad foliar (Velasco *et al*. 2002).

Otras plagas importantes en áreas forestales son los escarabajos descortezadores (*Dendroctonus* sp.) y la mariposa resinera (*Synanthedon cardinalis*), ambos tipos de plaga construyen galerías en la corteza y el cambium (la capa de células de crecimiento entre la corteza y la madera) para succionar los nutrientes del árbol; las escamas algodonosas (*Coccidae* sp.), que pinchan las estructuras de las plantas para succionar sus fluidos, además de provocar la secreción abundante de melaza; y los muérdagos enanos (*Arcethobium* sp.), plantas parásitas que crecen sobre los árboles y absorben de ellos agua y nutrientes (Velasco *et al.* 2002, Salazar y Vázquez 2001).

En áreas con vegetación natural no forestal, el ahuejote (*Salix bonplandiana*) es una de las especies afectadas por el ataque de plagas como: muérdago verdadero (*Cladocolea loniceroides*), planta que invade y parásita el tallo principal y las ramas del árbol causando su muerte; y el gusano de bolsa (*Malacosoma incurvum* var. *aztecum*), el cual se come las hojas reduciendo el vigor y su capacidad para soportar el ataque de otros agentes dañinos (SMA 2010*a*, Mariño *et al*. 2011).

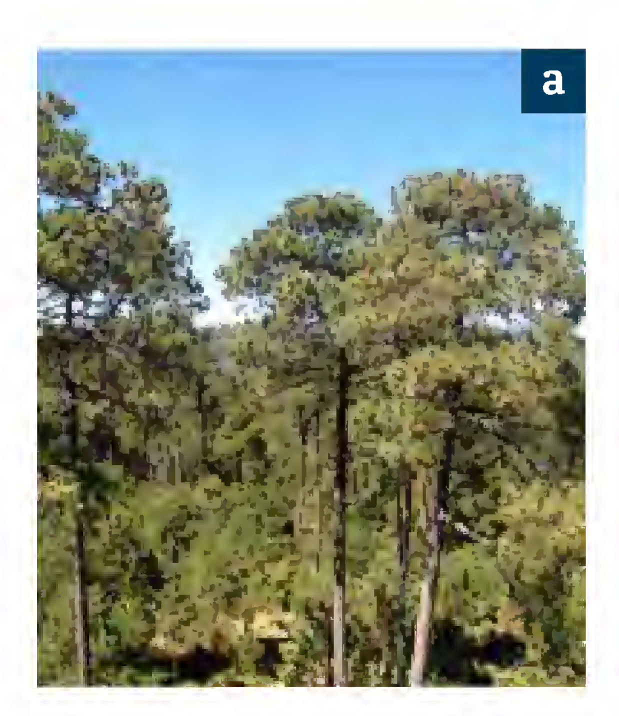






Figura 33. Ejemplos de áreas en donde se presenta el SE de control biológico dentro de la Ciudad de México. *a)* bosques de *Pinus hartwegii*, en la sierra del Chichinautzin; *b)* zonas de cultivo en la delegación Tláhuac; y *c)* área verde urbana en el parque de la Bombilla. Fotos: Alya Ramos, Adalberto Ríos Szalay/Banco de imágenes CONABIO, Inti Burgos 2012.

Figura 34. Vista del Ajusco al surponiente de la ciudad desde un bosque de *Abies* sp. en la delegación Tlalpan. Foto: Víctor Ávila 2010.

Figura 35. Bosque de *Pinus hartwegii* en el Ajusco, delegación Tlalpan. Foto: Inti Burgos 2009.



Figura 36. Ardilla gris común (*Sciurus* sp.) una de las principales plagas del bosque de pino (*Pinus hartwegii*) en la Ciudad de México. Foto: Manuel Grosselet/Banco de imágenes CONABIO 2012.

Plagas y enfermedades de plantas en áreas agrícolas

El rendimiento de un terreno agrícola se mide en toneladas de producto obtenido por hectárea, dicha productividad refleja una serie de factores entre los cuales uno de los más importantes es la incidencia de plagas y enfermedades que los afectan (SAGARPA 2012).

La disminución de la biodiversidad en las áreas agrícolas bajo el esquema de monocultivos, tiene como consecuencia la concentración de plagas y la disminución de la capacidad de los controles biológicos naturales (Balvanera y Cotler 2009). Esta situación no es ajena a las zonas agrícolas del SC, por ejemplo durante el año 2010 se cultivaron 22 477 ha, 85% estuvieron dominadas por seis principales cultivos: avena forrajera, maíz, nopal, brócoli, haba verde y frijol (SAGARPA 2012). Adicionalmente, las zonas de cultivos en la ciudad tienen una alta exposición a contaminantes atmosféricos, del agua y del suelo, así como a otros factores que por un lado facilitan la acción de las plagas y las enfermedades, y por otro dificultan la acción de las especies que pudieran funcionar como control biológico, como son la fragmentación, la reducción de los ecosistemas naturales y de la biodiversidad, así como la introducción de especies exóticas (Rivera 2002, Rivera *et al.* 2007, Ashworth *et al.* 2009).

Entre las plagas más importantes asociadas a los cultivos principales de la entidad se encuentran diversas especies denominadas comúnmente como rata de campo, ratón alfalfero (*Microtus mexicanus*) (figura 37), rata parda (*Rattus norvegicus*), tuza (*Pappogeomys merriami*), palomilla del nopal (*Cactoblastis cactorum*), cuervo llanero (*Corvus cryptoleucus*) (figura 37), tordo ojo rojo (*Molothrus aeneus*), paloma de pico rojo (*Columba flavirostris*) y algunas especies de chapulines (*Melanoplus* sp., *Sphenarium mexicanum*, *Taeniopoda eques* y *Brachystola magna*) (cuadro 17, González 1980, Mariño *et al.* 2011).

Aunque predominan los sistemas de monocultivo en grandes extensiones, en la cuenca de México se siguen llevando a cabo prácticas agrícolas que en la época prehispánica mantenían en funcionamiento uno de los agrosistemas más diversos que ha manejado la humanidad. Tal es el caso de los policultivos y la práctica de la chinampería (descritos en la subsección de provisión de alimentos) (figura 38), que a través de la utilización de una variedad de especies nativas y técnicas de manejo de suelos y agua, reduce la probabilidad de generar plagas en los cultivos (Pozo 2011).

Plagas y enfermedades de plantas en áreas verdes del suelo urbano

El término “áreas verdes del suelo urbano de la Ciudad de México” se utiliza para hacer referencia a espacios vegetados públicos como: los parques, los jardines, las plazas, los camellones y los árboles de alineamiento. Las áreas verdes del suelo urbano son los sitios con menor conectividad hacia las áreas con vegetación natural (suelo de conservación), por tanto forman islas de vegetación dentro de la trama constructiva de la ciudad. Estos espacios son poco valorados por su importancia ambiental dentro de la urbe y existen múltiples deficiencias administrativas, técnicas y financieras que han repercutido sobre su establecimiento, conservación y manejo (Pérez *et al.* 2006, SMA 2012*h*).

Al estar dentro del ambiente urbano (figura 39), las áreas verdes están expuestas a factores que aumentan su susceptibilidad a sufrir el ataque de las plagas, como la contaminación atmosférica, una disminución constante de superficie disponible, la dominancia de un número reducido de especies, la disminución del nivel de los mantos freáticos, la introducción de especies exóticas, la insuficiencia de espacio subterráneo y aéreo, el vandalismo, las prácticas inadecuadas de mantenimiento (poda, derribo, trasplante, riego deficiente, deshierbe, control de plagas y enfermedades,





Figura 37. Ratón alfarero *Microtus mexicanus* (izquierda) y cuervo llanero *Corvus cryptoleucus* (derecha), dos de las principales especies consideradas como plagas en áreas de cultivo de la Ciudad de México. Fotos: Manuel Grosselet/Banco de imágenes CONABIO 2012.

Cuadro 17. Plagas asociadas a cultivos en la ciudad.

Plaga	Cultivo afectado
Ardillas (*Spermophilus mexicanus, S. variegatus*) ratón de campo (*Oryzomys couesi, Reithrodontomys megalotis, Peromyscus maniculatus, Microtus mexicanus, Rattus rattus* y *Mus musculus*)	Maíz y hortalizas
Tuza (*Pappogeomys merriami*)	Maíz, avena, frijol, hortalizas, frutales
Palomilla del nopal (*Cactoblastis cactorum*)	Nopal
Cuervo llanero (*Corvus cryptoleucus*), tordo rojo (*Molothrus aeneus*), tordo sargento (*Agelaius phoeniceus*), zanate (*Quiscalus mexicanus*), paloma de pico rojo (*Columba flavirostris*)	Maíz
Chapulines (*Melanoplus* sp., *Sphenarium mexicanum, Taeniopoda eques* y *Brachystola magna*)	Maíz y hortalizas

Fuente: Del Villar-González 2000.



Figura 38. Extracción del lodo del fondo de los canales de Xochimilco como una técnica de manejo del suelo agrícola en las chinampas. Foto: Adalberto Ríos Szalay/Banco de imágenes CONABIO.

fertilización) (Chacalo *et al*. 2009). Así por ejemplo, Cibrián *et al*. (1995) encontraron que las plagas de insectos son más dañinas en árboles debilitados por las sequías y la contaminación atmosférica. Por otra parte, la poda excesiva o mal realizada debilita a los árboles y los vuelven más susceptibles a las plagas, provocando incluso su muerte (PAOT 2010).

El manejo del arbolado en las áreas verdes urbanas de la Ciudad de México no es el más adecuado. Chacalo y colaboradores (2009), determinaron que 66% de la población de árboles puede considerarse como joven, pero la supervivencia es baja y los sobrevivientes se encuentran

plantados en lugares poco apropiados como: camellones, aceras estrechas, glorietas pequeñas y espacios residuales muy cercanos a edificaciones; de esta manera, se generan áreas donde sólo hay una decena de árboles mientras que en otras hay centenares. Al respecto, existe una relación directa entre la condición sanitaria de los árboles y el sitio donde se ubican, debido a que en lugares poco apropiados, como camellones y aceras muy estrechas (figura 40), los árboles tienden a presentar una mayor incidencia de plagas y enfermedades que los árboles ubicados en parques y jardines con espacio suficiente (PAOT 2010).

Las zonas arboladas de la entidad son importantes porque otorgan distintos SE. De acuerdo al inventario de áreas verdes urbanas realizado en 2002, ocupan 55.9% de los espacios urbanos con vegetación y 20.4% de la superficie total del suelo urbano (SMA 2012*b*).

La diversidad de especies de las áreas verdes urbanas de la ciudad es relativamente baja. Se debe recordar que a mayor diversidad y menor fragmentación, mayor será la capacidad de suministro del SE de control de plagas y enfermedades. Con el fin de cuantificar numéricamente la diversidad de las áreas verdes urbanas de la entidad, la PAOT y la Universidad Autónoma de Chapingo elaboraron el índice de riqueza de especies del arbolado urbano (IREAU), que es la relación del número de especies de árboles localizadas en un área específica, entre la suma de las especies identificadas de todas las áreas censadas, el cual se expresa con fracciones de entre 0 y 1 (PAOT 2010). En el año 2009 se determinó que el IREAU promedio de las áreas verdes urbanas de la ciudad era de 0.29, mientras que grandes áreas arboladas como las cuatro alamedas y los bosques urbanos de Aragón, Chapultepec, San Luis







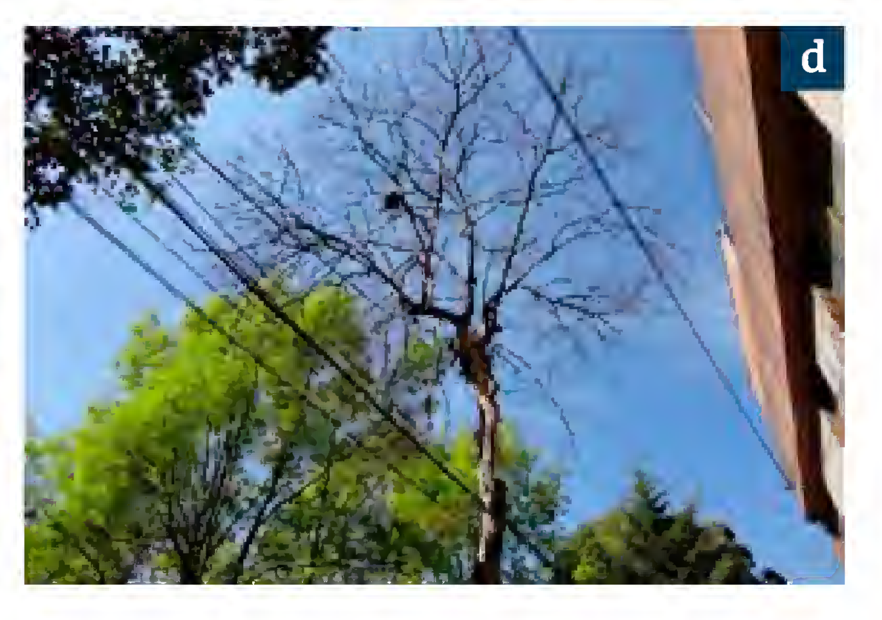


Figura 39. Problemáticas comunes en el arbolado de la ciudad. *a* y *c*) poda excesiva para el paso de cableado eléctrico; *b*) afectación a raíces debido al espacio reducido en banquetas; *d*) árbol afectado por plantas parásitas. Fotos: Inti Burgos.

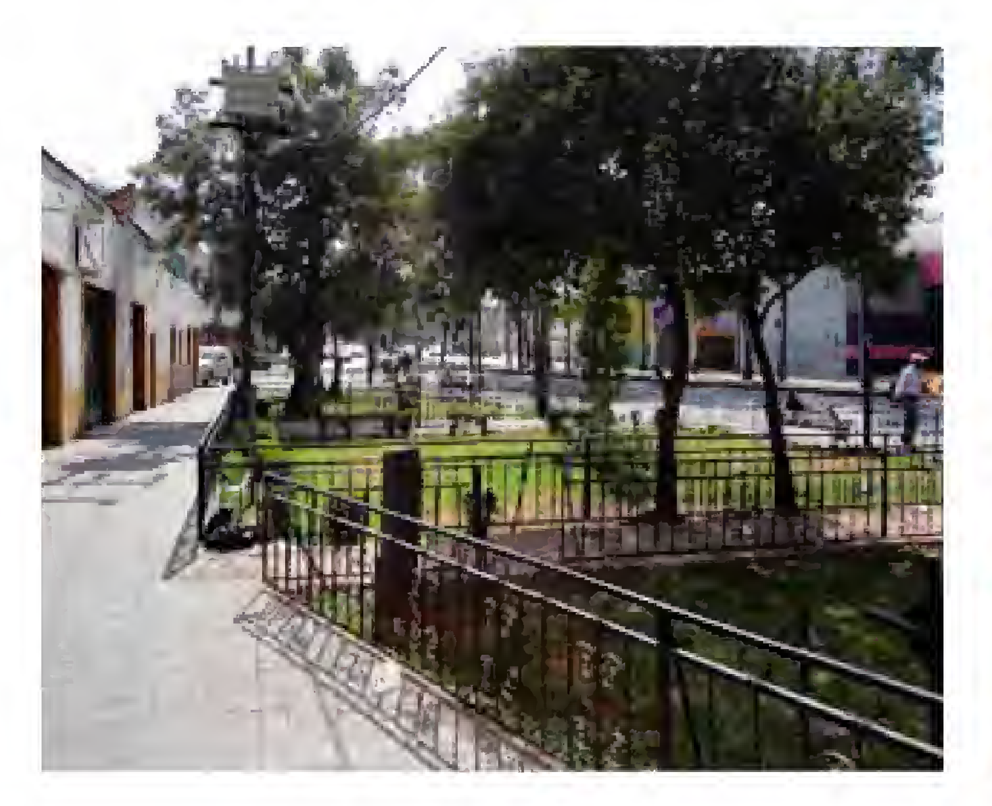
Tlamaxiltemalco y Nativitas en Xochimilco, presentaron valores promedio de 0.41 y 0.39, respectivamente. Por otro lado, se encontró que sitios que pueden ser considerados como poco apropiados, como es el caso de las plazas del Centro Histórico y áreas verdes ligadas a la red vial, tienen un IREAU promedio de 0.20 y 0.32, respectivamente (PAOT 2010).

Del total del arbolado de las calles, 72% está compuesto por únicamente nueve especies (Grabinsky *et al.* 2009), fresno (*Fraxinus uhdei*), trueno (*Ligustrum lucidum*), cedro blanco (*Cupressus lusitanica*), ciprés italiano (*Cupressus sempervirens*), jacaranda (*Jacaranda mimosifolia*), colorín (*Erythrina coralloides*), eucalipto (*Eucalyptus globulus* y *E. camaldulensis*) y olmo (*Ulmus parviflora*). Tan solo el fresno representa 19% de los árboles censados. Asimismo, hay diversas especies que antes eran comunes en la parte media y baja de la cuenca de México, como los encinos (*Quercus* spp.) y el ahuejote (*Salix bonplandiana*), que ya casi no se encuentran en los espacios urbanos, debido a que no existen condiciones microclimáticas y de humedad para su crecimiento, y a que se prefiere sembrar especies exóticas estéticamente más atractivas (Ezcurra 1990).

En la Ciudad de México la diversidad de especies en las áreas verdes urbanas se determina por la presencia de especies introducidas que desplazaron a las especies originales (Aldama *et al.* 2002, SMA 2012a). La dominancia de especies introducidas genera condiciones en las que se modifican las funciones ecológicas, lo que a su vez ocasiona la alteración del suministro de SE, dentro de los cuales destaca el de control de plagas y enfermedades (MA 2003a, Aldama *et al.* 2009). Aldama et al. (2002), encontraron que 70% de los árboles que inventariaron pertenecían a especies introducidas y 30% de los individuos eran especies nativas.

En la ejecución de proyectos de establecimiento, reforestación y restitución de arbolado urbano, los lineamientos legales locales recomiendan priorizar la utilización de especies nativas (GDF 2005, 2006). Sin embargo, las condiciones de deterioro ambiental generalizado que imperan en los sitios a ser intervenidos favorecen que se elijan especies exóticas ya que tienen crecimiento más rápido y mayor sobrevivencia (Aldama *et al.* 2002, PAOT 2010). Si lo que se busca es la obtención de espacios verdes que tengan la mayor eficiencia en cuanto a la generación de SE, el criterio de selección de especies no debería favorecer la selección de especies exóticas para estas actividades.

Las especies de arbolado de camellones y parques de la entidad que presentan afecta-



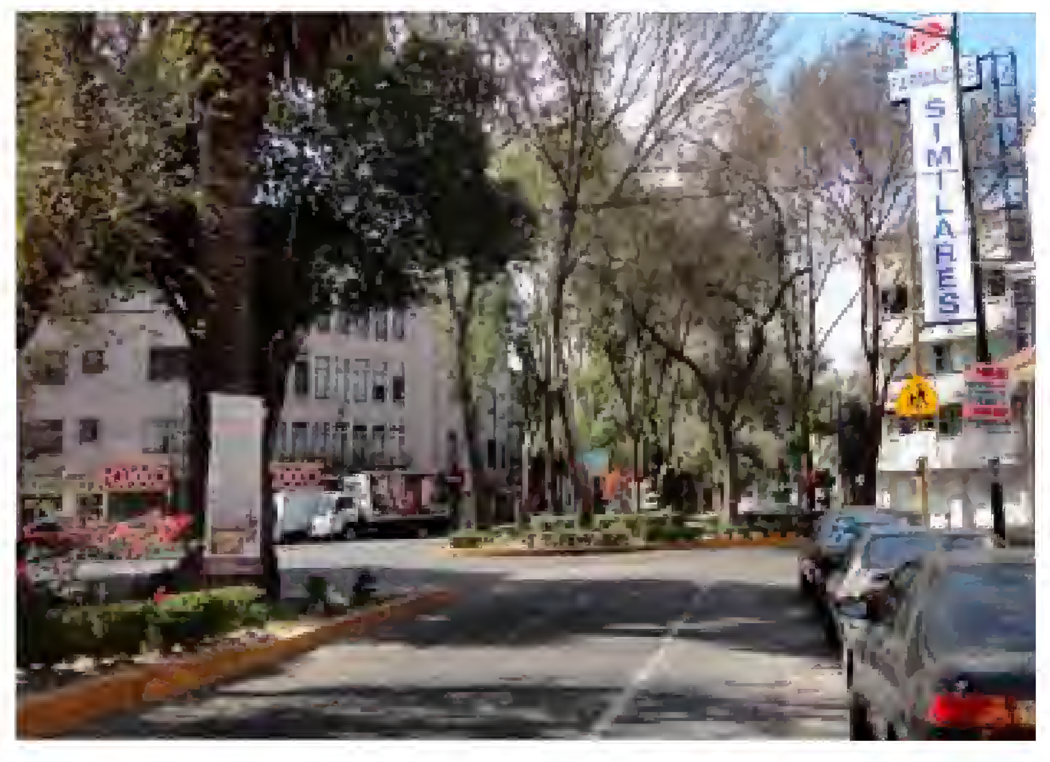


Figura 40. Ejemplos de áreas verdes con condiciones que favorecen la incidencia de plagas; a la izquierda, jardines irregulares cerca de la antigua sede de la delegación Iztacalco; a la derecha, una pequeña glorieta en la delegación Benito Juárez. Fotos: Inti Burgos.

ciones por plagas son: el eucalipto (*Eucalyptus* spp.), el cedro blanco (*Cupressus lusitanica*), el casuarina (*Casuarina cunninghamiana*), el fresno (*Fraxinus uhdei*), el álamo (*Populus* sp.), el olmo (*Ulmus* sp.), el trueno (*Ligustrum* sp.) y el aile (*Alnus* sp.) (PAOT 2010, SMA 2012c).

Las principales plagas y enfermedades encontradas en las áreas verdes urbanas son: ardilla gris (*Sciurus* sp.) (figura 41), enfermedad foliar (*Lophodermium* sp.), conchuela del eucalipto (*Glicaspis brimblecombei*), escamas algodonosas (*Coccidae* sp.), pulgones (*Pemphigus populitransversos*) y ocho especies diferentes de muérdagos (figura 42) (Velasco *et al.* 2002, Salazar y Vásquez 2001, Queijeiro-Bolaños *et al.* 2011, SMA 2012*g*).

Un área verde de importancia ambiental, social y cultural para la ciudad es el bosque de Chapultepec, localizado al poniente de la ciudad en la delegación Miguel Hidalgo. Éste es uno de los bosques urbanos más visitados del mundo y el parque de mayor extensión en la entidad, con una superficie de 686 ha. En él es posible observar muchas plagas y enfermedades que suelen encontrarse en el resto de las áreas verdes de la Ciudad de Méxco (GDF 2005 y 2006, Casasola 2006). En distintas ocasiones se estudiaron su estado sanitario (Cibrián *et al.* 1995, Wayne *et al.* 1996, Cibrián *et al.* 2007), encontrando la presencia de plagas, enfermedades y afectaciones físicas (exposición de la raíz, estrés hídrico por falta de riego, presencia de clavos, peladuras de corteza y heridas por golpes mecánicos). Estas afectaciones facilitan la acción de insectos y hongos patógenos, lo cual deteriora la salud del arbolado y puede provocar la muerte de los individuos. En el cuadro 18 se hace la síntesis de lo encontrado por diversos autores.

Especies que contribuyen al control biológico

En los tres tipos de áreas con cobertura vegetal de la Ciudad de México se pueden encontrar varias especies con hábitos de depredación que les permite fungir como control biológico de las poblaciones consideradas como plagas. La forma de vida, la distribución geográfica y la función ecológica dentro de las comunidades biológicas de las especies depredadoras, ocasionan que no todas ellas puedan actuar en los diferentes tipos de áreas con vegetación de la ciudad.

De las especies reportadas para la entidad (UAEM y SMA 2010), las siguientes cuentan con capacidad para fungir como control biológico:

Anfibios

En la ciudad se reportan 18 especies de anfibios que incluyen ajolotes (*Ambystoma* spp.), salamandras (*Chiropterotriton* spp.), sapos (*Anaxyrus* spp.) y ranas (*Hyla* spp., *Eleutherodactylus* spp., *Lithobates* spp. y *Spea* spp.) (ver capítulo "Anfibios" en esta obra). Dentro de su alimentación se incluyen grupos que son considerados plaga, tal es el caso de los dípteros como el mosquito común (tanto en estado larvario como adulto) o de saltamontes y chapulines del género *Sphenarius*, por ello juegan un papel importante como controladores biológicos. Un ejemplo es el sapo gigante (*Rhinella marina*), que aunque es una especie exótica, come casi cualquier clase de insecto; desde abejas, termitas, grillos, chapulines hasta escarabajos del género *Phyllophaga* que pueden alcanzar el estatus de plaga en plantas de cultivo (Sampedro-Marin *et al.* 2011). La distribución de estas especies dentro de la entidad se limita a las áreas cercanas a cuerpos de agua limpia o poco contaminada.

Reptiles

En el SC se pueden encontrar hasta 39 especies de reptiles como lagartijas, serpientes, lagartos y camaleones (ver el capítulo de "Reptiles" en esta obra). Los reptiles tienen hábitos alimenticios muy diversos, los hay herbívoros, detritívoros, insectívoros y carnívoros. Debido a esta gran diversidad alimenticia, los reptiles cumplen un papel muy importante en la

Figura 41. Ardilla gris (*Sciurus* sp.) en un parque de la ciudad. Esta especie suele ser alimentada por el público, propiciando su proliferación hasta convertirse en plaga Foto: Inti Burgos 2012.



Figura 42. Árbol invadido por muérdago en las calles del centro de Coyoacán. Foto: Inti Burgos 2012.

Cuadro 18. Plagas, enfermedades y afectaciones físicas de los árboles en el bosque de Chapultepec.

Especie afectada	Plaga	Efectos de la plaga	Factores abióticos
Eucalipto rojo (*Eucalyptus camaldulensis*)	*Glycaspis brimblecombei* (Succionador)	Pérdida de follaje, reducción de crecimiento y disminución del vigor de los individuos.	EH, V, RE
Fresno (*Fraxinus uhdei*)	*Stenomacra marginella* (Succionador) *Tropidosteptes chapingoensis* (Succionador,) *Hylesinus* sp. (descortezador) *Botryosphaeria rhodina*(hongo) *Cladocolea* sp. (muérdago)	Debilitamiento, afectación de la calidad estética del follaje (manchas cloróticas y puntuaciones). Presencia de puntos cloróticos que en infestaciones severas ocupan toda la hoja, defoliación. Daño en el tronco de los individuos. Formación de "cancros" en el tejido de la planta.	V, RE
Trueno (*Ligustrum lucidum*)	*Rothschildia* sp. (defoliador) *Cladocolea* sp. (muérdago)	Reducción de hojas.	RE, V, EH
Pino radiata (*Pinus radiata*)	*Chioaspis* sp. (succionador) *Oligonychus* sp. (succionador)	Reducción del crecimiento, hojas de apariencia negruzca. Manchas en el follaje, caída prematura.	RE, EH,
Cipres o cedro (*Cupressus lusitanica* y *C. benthamii*)	*Allonychus* sp. (succionador) *Phloeosinus* sp. (descortezador)	Manchas en el follaje, caída prematura. Daños en la corteza del tronco.	EH, V
Durazno (*Prunus persica*)	*Tranzchelia* sp. (hongo) *Cladocolea* sp. (muérdago)	Roya en el follaje, pústulas amarillas, cobrizas y negras aparecen en el envés de la hoja.	V
Jacaranda (*Jacaranda Mimosifolia*) Trueno japonés (*Ligustrum japonicum*), Mora (*Morus celtidifolia*), Álamo plateado (*Populus alba*), Álamo de Canadá (*P. canadensis*), Álamo (*P. deltoides*), Álamo temblón (*P. tremuloides*), Chabacano (*Prunus armeniaca*), Ciruelo (*P. domestica*), Capulín (*P. serotina*), Sauce llorón (*Salix babilonica*, Ahuejote (*S. bonplandiana*), Sauce criollo (*S. humboltiana*)	*Cladocolea* sp. (muérdago)	Disminución del vigor y valor estético; muerte de los árboles.	

EH: estrés hídrico, RE: raíz expuesta, V: vandalismo
Fuente: Cibrián *et al.* 1995, Wayne *et al.* 1996 y Cibrián *et al.* 2007.

regulación de plagas de insectos y roedores (cuadro 19). Algunos ejemplos de esto son la culebra de collar (*Diadophis punctatus*) que come algunos vertebrados pequeños como roedores; las culebras del género Thamnophis spp. que se caracterizan por ser hábiles depredadoras de roedores, sanguijuelas, hormigas, gusanos, escarabajos, mariposas y caracoles; las serpientes pertenecientes al género Crotalus (figura 43), como la cascabel de cola negra (*C. molossus nigrescens*), la cascabel ocelada (*C. polystictus*), la cascabel de bandas (*C. transversus*), o la cascabel transvolcánica (*C. triseriatus triseriatus*), que se alimentan de mamíferos pequeños, gusanos, caracoles e incluso aves pequeñas (García y Ceballos 1994). La distribución de las especies de este grupo es variada, como ejemplo tenemos a las serpientes de cascabel que se distribuyen principalmente en el SC, mientras que algunas especies como la lagartija escamosa de mezquite (*Sceloporus grammicus*) son comunes incluso en el área urbana.

Aves

En la ciudad habitan 355 especies de aves distribuidas en 61 familias (ver capítulo "Aves" en esta obra). Como se muestra en el cuadro 20, su función como controladoras de poblaciones es variada, debido a que se pueden alimentar de roedores, insectos, peces y reptiles (INE 1994). Por su habilidad para desplazarse, este grupo es el más ampliamente distribuido la urbe (figura 44).

Mamíferos

De las 83 especies existentes en ciudad (ver capítulo "Mamíferos" en esta obra), destacan como reguladores de plagas los murciélagos (figura 45), por su capacidad de controlar poblaciones de polillas, moscas, mosquitos, termitas y saltamontes (WWF 2005). También destaca un pequeño grupo de carnívoros (cuadro 21) como cacomixtles, comadrejas, coyotes, linces y zorros, que contribuyen a controlar las poblaciones de roedores y reptiles (Velázquez *et al.* 1996). Las especies de este grupo se distribuyen principalmente en las áreas con vegetación natural del SC, pero en el caso de los murciélagos pueden encontrarse en sitios como campanarios y edificaciones abandonadas.

Cuadro 19. Principales especies de reptiles reguladoras de plagas en la Ciudad de México y sus presas habituales.

Nombre común	Nombre científico	Roedores	Escarabajos, moscas y mosquitos	Arañas y alacranes	Hormigas y termitas	Otros
Cascabel cola negra	*Crotalus molossus nigrescens*	x		x		Gusanos
Cascabel de bandas	*Crotalus transversus*	x		x		Gusanos
Cascabel ocelada	*Crotalus polystictus*	x		x		Gusanos
Cascabel pigmea mexicana	*Sistrurus ravus*	x		x		Gusanos
Cascabel transvolcánica	*Crotalus triseriatus triseriatus*	x		x		Aves
Coralillo	*Micrurus tener*					Serpientes
Culebra de collar	*Diadophis punctatus*	x		x		Caracoles, larvas, reptiles
Culebra de cuello listonado negro	*Thamnophis cyrtopsis cyrtopsis*	x	x	x	x	Caracoles
Culebra listonada de montaña cola corta	*Thamnophis scaliger*	x	x	x	x	Caracoles
Culebra listonada de montaña cola larga	*Thamnophis scalaris*	x	x	x	x	Caracoles
Culebra listonada de vientre negro	*Thamnophis melanogaster*	x	x	x	x	Caracoles
Culebra listonada del sur mexicano	*Thamnophis eques eques*	x	x	x	x	Caracoles
Culebra sorda mexicana	*Pituophis deppei*	x				
Culebra terrestre narigona	*Conopsis nasus*	x		x		Larvas
Culebra toluqueña	*Toluca lineata*	x	x	x	x	Caracoles
Lagartija escamosa del mezquite	*Sceloporus grammicus microlepidotus*		x	x		Caracoles, garrapatas

Fuente: UAM y SMA 2010, García y Ceballos 1994.

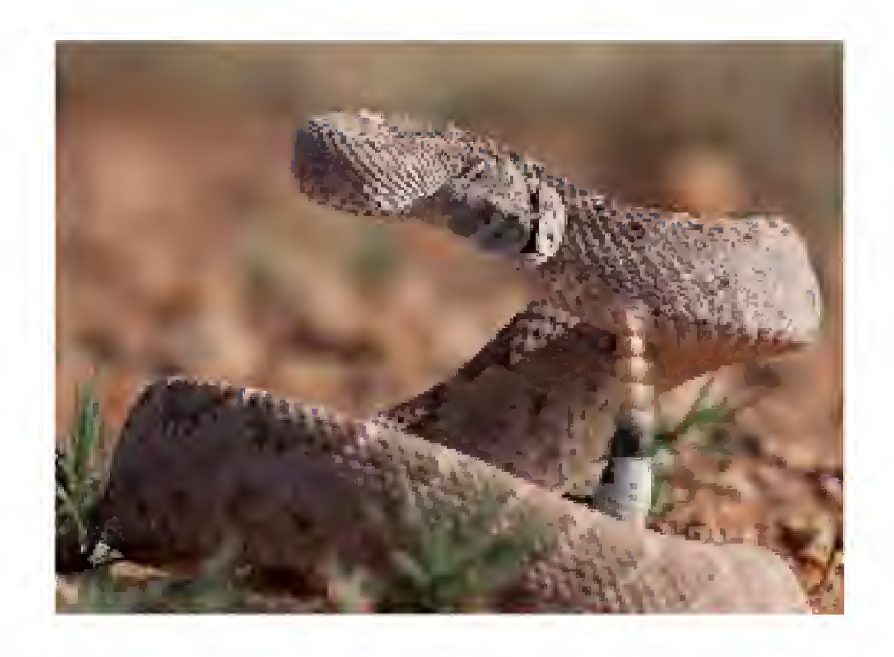


Figura 43. Serpiente de cascabel (*Crotalus* spp.), Foto: Banco de imágenes CONABIO 2013.

Conclusión

El SE de control de plagas y enfermedades guarda una relación estrecha con la biodiversidad y con los procesos que la afectan como la fragmentación, la introducción de especies exóticas y la alteración del hábitat. En el caso de las áreas con vegetación de la entidad, dichos procesos de degradación se ven acentuados por la amenaza que representa el avance de la mancha urbana y por la simple presencia de una megalópolis de tal magnitud, con todas las implicaciones que esto conlleva. No obstante, existen diferentes niveles de agregación de áreas con vegetación que tienen mayor o menor diversidad biológica y capacidad de brindar el SE de control de plagas y enfermedades. Aun en pequeños jardines urbanos que pueden ser considerados como espacios residuales existe la capacidad de suministrar distintos SE como el control biológico de plagas. Una correcta planeación de las áreas verdes urbanas y la protección del SC pueden generar un sistema de corredores biológicos urbanos, que incrementen los beneficios que brindan. Se deben tomar como oportunidades de reintroducción de especies nativas y el aumento de la biodiversidad, con el fin de buscar permanentemente un manejo adecuado de las áreas verdes en suelos urbanos (Aldama *et al*. 2009).

Consideraciones finales de los SE de regulación

Los servicios de regulación son procesos intangibles que suelen ser difíciles de identificar, medir y manejar, lo cual complica su estudio y evaluación. Sin embargo, existe una gran cantidad de publicaciones que contribuyeron a describir la manera en que están funcionando. Los que presentaron mayor cantidad de información fueron "control de enfermedades humanas", "control biológico de plagas" y "regulación de la calidad del aire". Otros servicios como regulación de "erosión", de "flujos de agua" y de "calidad de agua", están menos documentados, a pesar de la importancia que éstos representan para la



Figura 44. Aguililla (*Pandion haliaetus*) perteneciente a la familia Accipitridae en pleno vuelo, después de haber cazado a una culebra pequeña. Foto: Claudio Contreras Koob/Banco de imágenes CONABIO 2013.

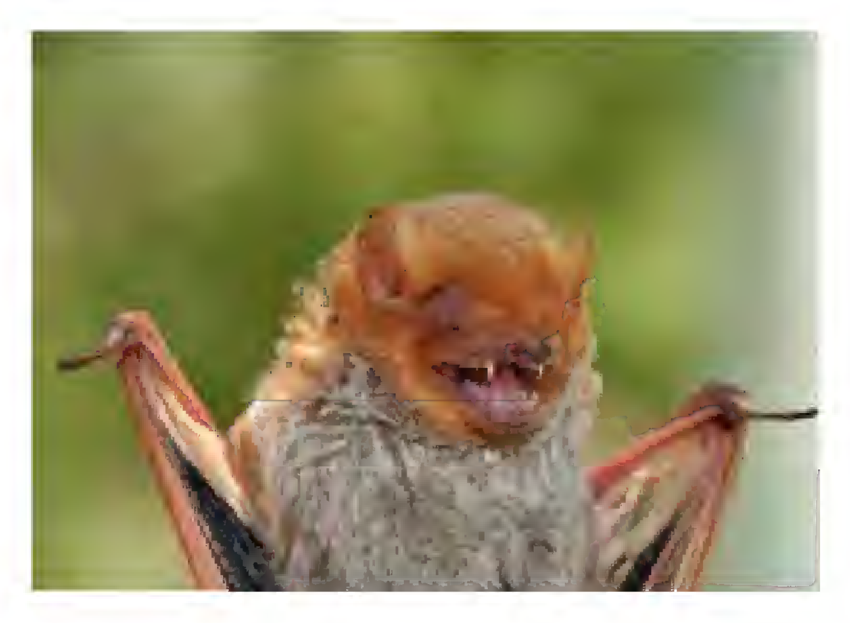


Figura 45. Murciélago de Blossevilli (*Lasiurus blossevillii*), especializado en la caza de escarabajos, moscas, mosquitos y mariposas nocturnas. Foto: Celia López González/Banco de imágenes CONABIO 2013.

Cuadro 20. Principales familias de aves reguladoras de plagas en la ciudad y sus presas habituales.

Familia		Roedores	Escarabajos, moscas y mosquitos	Peces y hueva	Hormigas y termitas	Otros
Aguilillas y gavilanes	Accipitridae	x				Caracoles
Ahuizotles	Anhingidae		x	x		
Buhos verdaderos	Strigidae	x		x		Conejos, liebres, perros
Buitres y zopilotes	Cathartidae	x	x			Carroña
Carpinteros	Picidae		x		x	Gusanos barrenadores, arañas
Capulinero	Ptilogonatidae		x			Grillos y chapulines
Garzas	Ardeidae	x	x	x		Crustáceos
Gaviotas	Laridae	x	x	x		Detritos, carroña
Gorriones del nuevo mundo	Emberizidae					
Parúlidos	Parulidae	x		x		
Halcones	Falconidae	x				Reptiles, aves
Hormigueros	Formicariidae		x		x	
Lechuzas y tecolotes	Tytonidae	x	x			
Mascarita	Paridae		x			Gusanos defoliadores
Mosqueros	Tyrannidae		x			Particularmente moscas y mosquitos
Patos y ganzos	Anatidae		x	x		
Pelícanos	Pelecanidae			x		
Pescadores	Alcedinidae		x	x		Arañas y alacranes
Saltapalos	Sittidae		x			Gusanos barrenadores, arañas
Trogones	Trogonidae		x			
Urracas y cuervos	Corvidae	x	x			Larvas
Verdugos	Laniidae		x			Mariposas

Fuente: UAEM y SMA 2010, INE 1994.

Cuadro 21. Principales especies de mamíferos reguladoras de plagas en la ciudad y sus presas habituales.

Nombre común	Nombre científico	Roedores	Conejos y liebres	Peces	Escarabajos, moscas y mosquitos	Mariposas nocturnas	Otros
Cacomixtle norteño	*Bassariscus astutus*	x			x		Arañas
Coatí	*Nasua narica*	x					
Comadreja cola larga	*Mustela frenata*	x	x	x			Arañas, serpientes
Coyote	*Canis latrans*	x	x				
Lince americano	*Lynx rufus*	x	x	x			
Murciélago cola suelta brasileño	*Tadarida brasiliensis*				x	x	Hormigas, termitas
Murciélago cola suelta mayor	*Nyctinomops macrotis*					x	
Murciélago con bonete de Underwood	*Eumops underwoodi*				x		
Murciélago de Blossevilli	*Lasiurus blossevillii*				x	x	Abejas, avispas
Murciélago moreno	*Eptesicus fuscus*				x	x	Abejas, avispas, termitas
Murciélago orejón mexicano	*Corynorhinus mexicanus*				x	x	
Murciélago orejón townsendi	*Corynorhinus townsendii*				x	x	
Murciélago cola peluda canoso	*Lasiurus cinereus*					x	
Myotis bordado	*Myotis thysanodes*				x		
Myotis californiano	*Myotis californicus*				x	x	
Myotis mexicano	*Myotis velifer*					x	
Myotis norteamericano	*Myotis lucifugus*				x	x	
Myotis pata larga	*Myotis volans*					x	Hormigas, termitas
Tlalcoyote	*Taxidea taxus*	x					
Zorra gris	*Urocyon cinereoargenteus*	x	x				

Fuente: UAEM y SMA 2010, WWF 2005.

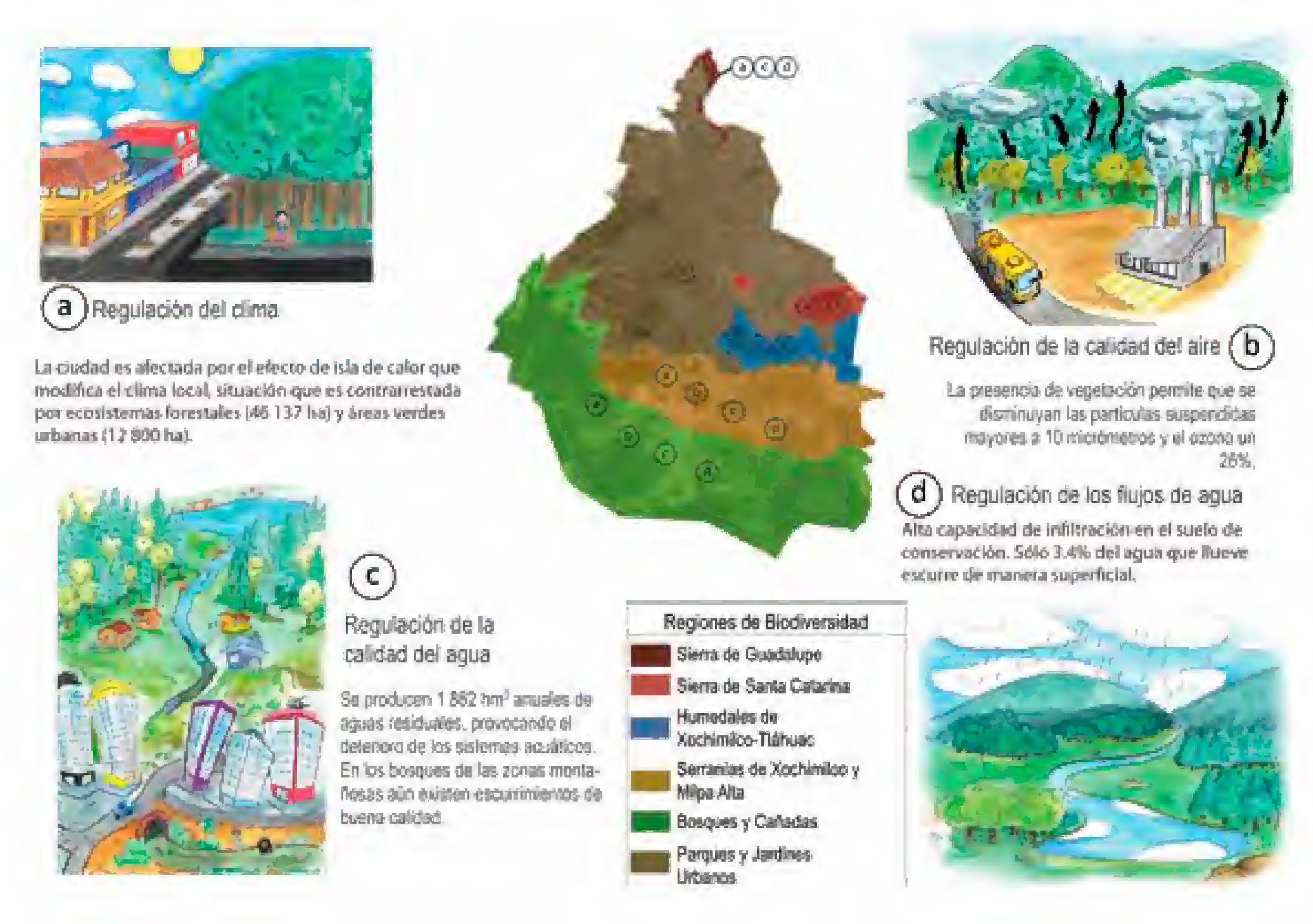


Figura 46. Distribución de los sitios de generación de servicios ecosistémicos de regulación del clima, calidad del aire, y del agua y sus flujos . Fuente: elaboración propia.

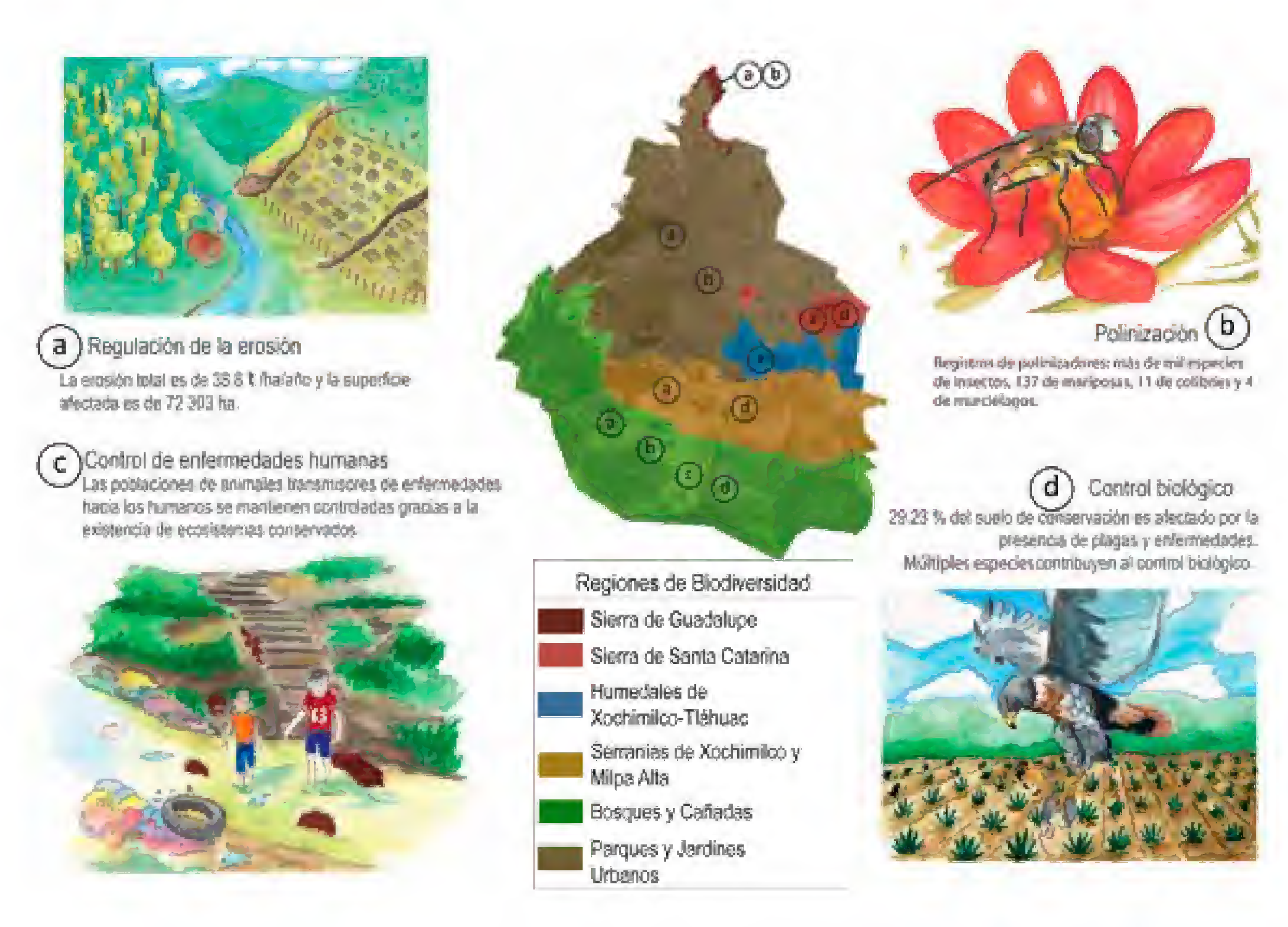


Figura 47. Distribución de los sitios de generación de servicios ecosistémicos de regulación de la erosión, polinización, control de enfermedades humanas y control biológico dentro de la Ciudad de México. Fuente: elaboración propia.

conservación de la biodiversidad de las áreas estratégicas de la Ciudad de México y en el bienestar de sus habitantes.

En las figuras 46 y 47 se muestran las zonas que contribuyen a la generación de los servicios de regulación. Las regiones Bosques y Cañadas, y Serranías de Xochimilco y Milpa Alta tienen un papel sobresaliente ya que sus ecosistemas forestales presentan un buen estado de conservación, haciendo posible que aún se lleven a cabo muchos procesos necesarios para la generación de estos SE.

El resto de las regiones enfrentan un grave proceso de deterioro, que provoca una menor capacidad de proveer estos servicios.

Referencias

Acha, P.N. y B. Szyfres. 2003. *Zoonosis y Enfermedades Transmisibles Comunes al Hombre y a los Animales*. Organización Panamericana de la Salud, Publicación Científica 580. Washington, D.C.

Alcázar, M.C., M.L. Rubio, E.F. Núñez y M.R. Alonso. 2006. Detección de *Salmonella* spp y *Listeria monocytogenes* en quesos frescos y semimadurados que se expanden en vía pública en la ciudad de México. *Veterinaria México* 37(4):417-429.

Aldama, A., A. Chacalo, J. Grabinsky y H.J. Vásquez. 2002. Amenazas al arbolado y a las áreas verdes urbanas. *Arbórea* 4(7):4-10.

Aldama, A., A. Chacalo, J. Grabinsky, y H.J. Vásquez. 2009. El arbolado de la Ciudad de México: realidades de un inventario. Mirar a los árboles con otros ojos. pp. 86-91. En: *Árboles y arbustos para ciudades*. A. Chacalo y V.C. Nava (eds.). UAM, México.

Anaya, S.M., M.I. Cruz., H.J. Marín. y L.J. Lecumberri. 2000. Frecuencia de géneros y especies de coccidias en heces de gatos en México, D.F. *Veterinaria México* 28(1):63-67.

Arizmendi, M. del C., C. Monterrubio-Solís, L. Juárez Lourdes, *et al*. 2007. Effect of the presence of nectar feeders on the breeding success of Salvia mexicana and Salvia fulgens in a suburban park near México City. *Biological Conservation* 136:155–158.

Arizmendi, M.D., E. Lopez-Saut, C. Monterrubio-Solís, *et al*. 2008. Effect of nectar feeders over diversity and abundance of hummingbirds and breeding success of two plant species in a sub-urban park next to Mexico City. *Ornitologia Neotropical* 19:491-500.

Ashworth L., M. Quezada, A. Casas, *et al*. 2009. Dependent food production in Mexico. *Biological Conservation* 142:1050-1057.

Ávila-Flores, R. y M.B. Frenton. 2005. Use of spatial features by foraging insectivorous bats in a large urban landscape. *Journal of Mammalogy* 86(6):1193-1204.

Balvanera, P. y H. Cotler. 2007. Los Servicios Ecosistémicos y la toma de decisiones: retos y perspectivas. *Gaceta ecológica* 84-85:117–123.

Balvanera, P. y H. Cotler. 2009. Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos. En: *Capital natural de México. Volumen II. Estado de Conservación y tendencias de cambio*. R. Dirzo, R. González, e I. March (comps.). CONABIO, México. , pp. 185-245.

Barcellos, C. y P.C. Sabroza. 2000. Socio-environmental determinants of the leptospirosis outbreak of 1996 in western Rio de Janeiro: A geographical approach. *International Journal of Environmental Health Research* 10(4):301-313.

Barry, R. y R.J. Chorley. 2003. *Atmosphere, Weather and Climate*. London: Routledge.

Beaumont, N.J., M.C. Austen, J. Atkins, *et al*. 2007. Identification, definition and quantification of goods and services provided by marine biodiversity: Implications for the Ecosystem Approach. *Marine Pollution Bulletin* 54:253–265.

Benavides, P.L., H.E. López y B.J. Torres. 2006. Niveles de anticuerpos antileptospira en la población humana aparentemente sana de la Ciudad de México. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas* 37(2):10-15.

Besné-Mérida, A., J.A. Figueroa-Catillo, J.J. Martínez-Maya, *et al*. 2008. Prevalence of antibodies against Toxoplasma gondii in domestic cats from Mexico City. *Veterinary Parasitology* 157(3-4):310-313.

Betts, R., B. Constanza, M. Assuncao, et al. 2005. Climate and Air Quality. En: *Ecosystems and human well-being: Current state and trends, vol. 1*. R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.) Island Press, Washington, D.C, pp. 355-390.

Birkle, P., V. Torres-Rodríguez y E. González-Partida. 1998. The water balance for the Basin of the Valley of Mexico and implications for future water consumption. *Hydrogeology Journal* 6(4):500-517.

Bonan, G. 2008. *Ecological climatology: Concepts and applications*. Cambridge University Press, Cambridge.

Bradley, C.A. y S. Altizer. 2006. *Urbanization and the ecology of wildlife diseases. Trends in Ecology and Evolution* 22(2):95-102.

Bravo H., R.G. Ocotla, P. Sánchez y R. Torres. 1992. La contaminación atmosférica por ozono en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. En: *La contaminación del aire en México: sus causas y efectos en la salud*. I. Restrepo (coord.). Comisión Nacional de Derechos Humanos (CNDH), México. pp. 173-184.

Brüschweiler, S., U. Höggel y A. Kläy. 2004. Los bosques y el agua: Interrelaciones y su manejo. Informes de desarrollo y medio ambiente No. 19. *Geographica Bernensia*. Berna, Suiza.

Burroughs, W.J. 2001. *Climate change. A multidisciplinary approach*. Cambridge, Cambridge University Press.

Burns, E. 2009. *Repensar la cuenca: la gestión de ciclos del agua en el Valle de México*. UAM. México.

Cabello, C., M.E. Manjarrez, R. Olvera, *et al*. 2006. Frequency of viruses associated with acute respiratory infections in children younger than five years of age at a locality of Mexico City. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 101(1):21-24.

Carrera-Hernández, J. y S.J. Gaskin. 2008. Spatio-temporal analysis of potential aquifer recharge: Application to the Basin of Mexico. *Journal of Hydrology* 353(3-4):228-246.

Casasola, M.M. 2006. *Influencia del Bosque de Chapultepec en el clima urbano de la Ciudad de México*. Tesis de licenciatura en geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México.

Castellanos-Morales, G., P.N. García y R. List. 2009. Ecología del cacomixtle (*Bassariscus astutus*) y la zorra gris (*Urocyon cineroargenteus*). pp. 371-381. En: *La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel*. A. Lot y Z. Cano-Santana (eds.). UNAM, México.

Chacalo, A., V. Corona, y F.M. Belanuzarán. 2009. *Árboles y arbustos para ciudades*. UAM, México.

Chen W.Y. y C.Y. Yim. 2008. Assessment and Valuation of the Ecosystem Services Provided by Urban Forests. En: *Ecology, Planning, and Management of Urban Forests: International Perspectives*. M.M. Carreiro, S. Yong-Chang y J. Wu (eds.). Springer, New York. pp. 53-83.

Cibrián, T.D., R.D. Alvarado y D.S.E. García. 2007. *Enfermedades Forestales en México*. UACH/ CONAFOR/SEMARNAT/USDA-FS/NRC/ COFAN-FAO. Chapingo, México.

Cibrián, T.D., M.J. Méndez, B.R. Campos, *et al*. 1995. *Insectos Forestales de México*. UACH/SFF-SARH/USDA-FS/NRC/COFAN-FAO. Chapingo, México.

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. 2009. *Estadísticas del Agua de la Región Hidrológico-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México*. México.

Conde, C., E. Ospin-Noreña, E. Luyando, *et al*. 2010. *Historia del Clima de la Ciudad de México: Efectos Observados y Perspectivas. Informe técnico. Centro de Ciencias de la Atmósfera*, UNAM/ Centro Virtual de Cambio Climático/Instituto de Ciencia y Tecnología del Gobierno del Distrito Federal (GDF-ICyT). México.

Contreras V., E. Martínez-Meyer, E. Valiente y L. Zambrano. 2009. Recent decline and potential distribution in the last remnant area of the microendemic Mexican axolotl (Ambystoma mexicanum). *Biological Conservation* 142: 2881–2885.

Cram, S., H. Cotler, L.M. Morales y I. Sommer. 2008. Identificación de los servicios ambientales potenciales en el paisaje urbano del Distrito Federal. *Boletín del Instituto de Geografía* 5000:81-104.

Cruz-Reyes, A. y J.M. Pickering-López. 2006. Chagas disease in Mexico: an analysis of geographical distribution during the past 76 years - A Review. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 101(4):345-354.

CSPNA. Committee on the Status of Pollinators in North America. 2007. Status of Pollinators in North America. CSPNA, National Academies Press. Washington, D.C.

Daszak, P., A.A. Cunningham y A. D. Hyatt. 2000. Wildlife ecology-Emerging infectious diseases of wildlife - Threats to biodiversity and human health. *Science* 287:443-449.

DDF. Departamento del Distrito Federal. 1987. Geohidrología del Valle de México. DDF. México.

De Groot, R.S., M.A. Wilson y R.M.J. Boumans. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economic* 41:393-408.

De Mattos, C.A., M. Favi, V. Yung, *et al*. 2006. Bat rabies in urban centers in Chile. *Journal of Wildlife Diseases* 36(2):231-240.

Del Villar-González, D. 2000. Principales vertebrados plaga en México: situación actual y alternativas para su manejo. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 6(1):41-54.

Díaz, S., D. Tilman, J. Fargione, *et al.* 2005. Biodiversity regulation of ecosystem services, en R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.). Ecosystems and human well-being: Current state and trends, Vol. 1. En: *Findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment. Island Press*, Washington, D.C., pp. 297-329.

Dieguez, B.E. y S.E. Alfonseca. 1995. Brucelosis en animales de zoológico en México. *Veterinaria México* 26(2):59.

Dobson, A. 2004. Population dynamics of pathogens with multiple host species. *American Naturalist* 164(5):S64-S78.

Dobson, A. y J. Foufopoulos. 2001. Emerging infectious pathogens of wildlife. *Philosophical Transactions of The Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 356(1411):1001-1012.

Dumonteil, E. 1999. Update on Chagas' disease in Mexico. *Salud Pública de México.* 41(4):322-327.

Engelthaler, D.M., D.G. Mosley, J.E. Cheek, *et al.* 1999. Climatic and environmental patterns associated with hantavirus pulmonary syndrome, Four Corners region, United States. *Emerging Infectious Diseases* 5:87-94.

Eguía-Aguilar, P., A. Cruz-Reyes y J.J. Martínez-Maya. 2005. Ecological analysis and description of the intestinal helminthes present in dogs in Mexico City. *Veterinary Parasitology* 127(2):139-149.

Escobedo, F. y A. Chacalo. 2008. Estimación preliminar de la descontaminación atmosférica por el arbolado urbano de la Ciudad de México. Interciencia 33(1): 29-33. En: <*http://www.ine.gob.mx/calaire-indicadores/523-calaire-cont-criterio*>, última consulta: 2 de abril de 2013.

Espinosa-García, A.C., M. Mazari-Hiriart, R. Espinosa, *et al.* 2008. Infectivity and genome persistence of rotavirus and astrovirus in drinking and irrigation water. *Journal of Water Research* 42(10-11):2618-2628.

Estrada, P.M. 2001. Cambio climático global: causas y consecuencias. *Revista de información y análisis* 16:7-17.

Ezcurra, E. 1990. *De las chinampas a las megalópolis. El medio ambiente en la cuenca de México.* FCE. México.

Ezcurra, E., M. Mazari, I. Pisanty y A. Aguilar. 2006. *La Cuenca de México.* FCE, México.

Farr, D. 2008. Sustainable urbanism. *Urban design with nature. John Wiley and Sons.* Nueva Jersey

Feldmann, H., M. Czub, S. Jones, *et al.* 2002. Emerging and re-emerging infectious diseases. *Medical Microbiology and Immunology* 191(2):63-74.

Fenn, M.E., L.I. De Bauer, A. Quevedo-Nolasco y C. Rodriguez-Frausto. 1999. Nitrogen and sulfur deposition and forest nutrient status in the valley of Mexico. *Water, Air and Soil Pollution* 113:155-174.

Fenn, M.E., J. Castro-Servín, T. Hernández-Tejeda, *et al.* 2002. Heavy metals in forest soils, vegetation, and drainage waters in the basin of Mexico. *Urban air pollution and forests* 156:194-221.

Flores-Castro, R., F. Suarez, C. Ramírez-Pfeiffer y L.E. Carmichael. 1977. Canine Brucellosis: Bacteriological and serological investigation of naturally infected dogs in México City. *Journal of Clinical Microbiology* 6(6):591-597.

Fowler, D., K. Pilegaard, M.A. Sutton, *et al.* 2009. Atmospheric composition change: Ecosystems- Atmosphere interactions. *Atmospheric Environment* 43(33):5193–5267.

García, P.A., G.F. Suárez y P.A de la Peña. 1992. Leptospira and Brucella serology in white tailed deer (*Odocoileus virginianus*) at the Mexico City Chapultepec Zoo. *Veterinaria México* 23(4):349-352.

García, A.A. y G. Ceballos. 1994. *Guía de Campo de los Reptiles y Anfibios de la Costa de Jalisco.* Fundación Ecológica de Cuixmala A.C./Instituto de Biología-UNAM, México.

Garrido, P., M.L. Cuevas, H. Cotler, *et al.* 2010. Evaluación del grado de alteración ecohidrológica de los ríos y corrientes superficiales de México. *Investigación ambiental* 2(1): 25-46.

Garten, R.J., C.T. Davis, C.A. Russell, *et al.* 2009. Antigenic and genetic characteristics of swine-origin 2009 A (H1N1) influenza viruses circulating in humans. *Science* 325:197-20.

GDF. Gobierno del Distrito Federal. 2003. Inventario de áreas verdes. México. En:<*http://www.sma.df.gob.mx/sma/index.php?opcion=26&id=112*>, última consulta: 13 de enero de 2009.

——. 2005. Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-006-RNAT-2004. Publicada el 18 de noviembre de 2005 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

——. 2006. Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-001-RNAT-2006. Publicada el 8 de diciembre de 2006 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

——. 2010. *Programa de acción climática de la Ciudad de México* 2008-2012. Informe de avances 2010. GDF. México.

——. 2012. *Atlas Geográfico del Suelo de Conservación del Distrito Federal.* SMA/PAOT, México.

Gil A.D. y L. Samartino. 2001. Zoonosis en los sistemas de producción animal de las áreas urbanas y periurbanas de América Latina. FAO. Livestock Information and Policy Branch, AGAL. En: <*www.bvsde.paho.org/bvsea/fulltext/gil.pdf*>, última consulta: 10 de abril de 2013.

Gilioli, G., J. Baunmgärtner y V. Vacante. 2012. Biological control and ecosystem services. En: *Encyclopedia of life support systems, Vol. I. Ecology*. UNESCO.

González, A. 1980. *Roedores plaga en las zonas agrícolas del Distrito Federal*. Instituto de Ecología, UNAM, México.

Goodin, D.G., E.D. Koch, R. Owen, *et al*. 2006. Land cover associated with hantavirus presence in Paraguay. *Global Ecology and Biogeography* 15(5):519-527.

Gordillo-Pérez, G., J. Torres, F. Solórzano-Santos, *et al*. 2003. Estudio seroepidemiológico de borreliosis de Lyme en la Ciudad de México y el noreste de la república mexicana. *Salud Pública de México* 45(5): 351-355.

Grabinsky, J., A. Chacalo, A. Aldama y H.J. Vázquez. 2009. Si los árboles pudieran hablar. En: *Árboles y arbustos para ciudades*. A. Chacalo y V.C. Nava (eds.). UAM. México. pp. 102-107.

Gual, S.F. y R.J.Pulido. 1994. Tratamiento de la balantidiasis en gorilas de tierras bajas en el Zoológico de Chapultepec. *Veterinaria México* 25(1):73-75.

Gutiérrez-Cogco, L., E. Montiel Vázquez, P. Aguilera-Pérez y M. González-Andra. 2000. Serotipos de Salmonella identificados en los servicios de salud de México. *Salud Pública de México* 42(6):490-495.

Hart, C.A. y M.B. Bennett 1999. Hantavirus infections: epidemiology and pathogenesis. *Microbes and Infection*. 1(14):1229-1237.

Herrejón, J., S.F. Gual, A. Ayanegui, *et al*. 2009. Determinación de la seroprevalencia de *Leptospira* spp. de las poblaciones de cacomixtles (*Bassariscus astutus*) y tlacuaches (*Didelphis virginiana*) localizadas en la reserva ecológica del Pedregal de San Ángel. *Memorias del primer congreso en Ecología de Enfermedades y Medicina de la Conservación*.

Hortelano-Moncada, Y., F.A. Cervantes y A. Trejo. 2009. Mamíferos Silvestres. En: *Biodiversidad del Ecosistema del Pedregal de San Ángel*. A. Lot y Z. Cano (eds.). UNAM, México, pp. 227-293.

Houghton, J. 2004. *Global warming. The complete briefing*. Cambridge, Cambridge University Press.

House, J., V. Brovkin, R. Betts, R. Constanza, *et al*. 2005. Climate and air quality. En: *Ecosystems and human well-being: Current state and trends, vol. 1*. R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds). Island Press, Washington, D.C, pp. 357-390.

Hudson, N. 1982. *Conservación del suelo*. Reverté, Madrid, España.

INE. Instituto Nacional de Ecología. 1994. *Aves de presa*. INE, México.

——. 2011. *Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (2000-2009)*. SEMARNAT, México.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2010. Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. En: <*http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/aeeum/2010/Aeeum10_1.pdf*>, última consulta: 12 de marzo de 2013.

——. 2011*b*. México en cifras. Información nacional, por entidad federativa y municipios. En: <*http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/*>, última consulta: 04 de marzo de 2013.

Jáuregui, E. 1989. The dust storms of Mexico City. *International Journal of Climatology* 9:169-180.

——. 1990. Effects of vegetation and new artificial water bodies in the climate of NE Mexico City. *Energy and Buildings* 15-16:447-455.

——. 1995. Algunas alteraciones de largo período del clima de la Ciudad de México debidas a la urbanización. Revisión y perspectivas. *Boletín del Instituto de Geografía*, UNAM 31:9-44.

——. 1997. Heat Island development in Mexico City. *Atmospheric Environment* 31(22):3821-3831.

——. 2000. *El clima de la ciudad de México*. Instituto de geografía. UNAM, México.

——. 2002. The Climate of the Mexico City Air Basin: Its Effects on the Formation and Transport of Pollutants. En: *Urban Air Pollution and Forests*. M.E. Fenn, L.I. de Bauer y T. Hernández-Tejeda (eds.). Springer-Verlag, New York, pp. 86-117.

Jáuregui, E. y M.E. Heres. 2008. El clima/bioclima de un parque periurbano de la Ciudad de México. Investigaciones Geográficas, UNAM. *Boletín del Instituto de Geografía* 67:101-112.

Jáuregui, E. y E. Luyando. 1998. Long-term association between pan evaporation and the urban heat island in México City. *Atmósfera* 11(1):45-60.

Jordano, P. 1987. Patterns of mutualistic interactions in pollination and seed dispersal: connectance, dependence asymmetries, and coevolution. *The American Naturalist* 129:657–677.

Keesing, F., R.D. Holt y R.S. Ostfeld. 2006. Effects of species diversity on disease risk. *Ecology Letters* 9(4):485-498.

Kiester, A. R., R. Lande y D. W. Schemske. 1984. Models of coevolution and speciation in plants and their pollinators. *American Naturalist* 124:220-243

Kremen, C. 2004. Pollination services and community composition: does it depend on diversity, abundance, biomass or species traits? En *Solitary Bees: Conservation, Rearing and Management for* pp. 115-123. *Pollination*. B. Freitas y J. Pereira (eds.) Beberibe, Ceara, Brazil.

Langlois, J.P., L. Fahrig, G. Merriam y H. Artsob. 2001. Landscape structure influences continental distribution of hantavirus in deer mice. *Landscape Ecology* 16:255-266.

Langston, C.E. y K.J. Heuter. 2003. Leptospirosis. A re-emerging zoonotic disease. Veterinary Clinics of North America. *Small Animal Practice* 33:791-807.

León, D. 2007. Análisis de vulnerabilidad y desarrollo de medidas de adaptación para el Plan de Cambio Climático de la Ciudad de México. En: <*http://www.sma.df.gob.mx/cclimatico/descargas/analisis/02_informe_parte1.pdf*> última consulta: 25 de marzo de 2013.

Lesser, J.M., Sánchez, F. y D. González. 1986. Hidrogeoquímica del acuífero de la ciudad de México. *Ingeniería Hidráulica México*. 1:64-77.

Linsley R.K., M. Kohler y J. Paulhus. 1977. *Hidrología para ingenieros*. McGraw-Hill. México.

Lo Giudice, K., S.R. Ostfeld, K.A. Schmidt y F. Keesing. 2003. The ecology of infectious disease: Effects of host diversity and community composition on Lyme disease risk. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 100:567-571.

Loza-Rubio, E., C. Aguilar-Setién, C. Bahloul, *et al.* 1999. Discrimination between epidemiological cycles of rabies in Mexico. *Archives of Medical Research* 30: 144-149.

Loza-Rubio, E., C.C. De Mattos, A. Aguilar-Setién y C.A. De Mattos. 2000. Aislamiento y caracterización molecular de un virus rábico, obtenido de un murciélago no hematófago en la Ciudad de México. *Veterinaria México* 31:147-152.

Luis-Martínez, A. y J. Llorente-Bousquets. 1990. Mariposas en el Valle de México: introducción e historia. Distribución local y estacional de los Papilonidea de la Cañada de los Dinamos, Magdalena Contreras, D.F. México. *Folia Entomológica Mexicana* 78:95-198.

Luna, A.M., C.P. Moles, R.D. Gavaldón, et al. 2005. Estudio retrospectivo de seroprevalencia de leptospirosis bovina en México considerando las regiones ecológicas. *Revista Cubana de Medicina Tropical* 57(1):28-311.

MA. Millenium Ecosystem Assessment. 2003a. Ecosystem and their services. pp. 49-70. En: *Ecosystems and human well-being: A Framework for Assessment.* J. Alcamo *et al.* Island Press, Washington, D.C.

——. 2003*b*. A Framework for Assessment. pp. 71-96. En: *Ecosystems and human well-being*. Chapter 3. Millenium Ecosystem Assessment. Washington, D.C.

——. 2005*a*. Living Beyond Our Means: Natural Assets and Human Well-being. En: <*http://www.millenniumassessment.org/documents/document.429.aspx.pdf*>, última consulta: 7 de marzo de 2013.

——. 2005*b*. *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute. Millennium EcosystemAssessment. Washington, D.C.

Mancera, M.A., J.N. Vázquez, C.M. Ontiveros, *et al.* 2005. Identificación de *Salmonella enteritidis* en huevo para consumo en la ciudad de México. *Técnica Pecuaria México* 43(2):229-237.

Maderey, L.E. y A. Jiménez. 2005. Principios de hidrogeografía: Estudio del Ciclo Hidrológico. *Serie Textos Universitarios*. México.

Mariño, R.M., P. Fontana y F. Buzzeti. 2011. Identificación de plagas de chapulín en el norte–centro de México. pp. 33-56. En: *Control biológico de plagas de chapulín en el norte-centro de México*. C. García y J. Lozano (coords.). Universidad Autónoma de Zacatecas, México,

Marsal R. y M. Mazari. 1969. *El subsuelo de la Ciudad de México*. I Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos y Cimentaciones. México.

Martínez-Barbosa I., P.A. Fernández, T.O. Vázquez y H.A. Ruiz. 1998. Frecuencia de *Toxocara canis* en perros y áreas verdes del sur de la ciudad de México, Distrito Federal. Veterinaria México 29(3):239-244.

Martínez-Barbosa, I., T.O. Vázquez, C.R. Romero, *et al.* 2003. The prevalence of Toxocara cati in domestic cats in Mexico City. *Veterinary parasitology* 114(1):43-49.

Martínez-Barbosa, I., M.G. Quiroz, L.A. González, *et al.* 2008. Prevalence of ant- *T. canis* antibodies in stray dogs in Mexico city. *Veterinary Parasitology* 153(3-4):270-276.

Mazari-Hiriart, M. y D.M. Mackay. 1993. Potential for Groundwater Contamination in Mexico City. *Environmental Science & Technology* 27(5):794-801.

Mazari-Hiriart, M., Alberro, J., y S. González. 1996. Agrietamiento de arcillas lacustres y su relación con el uso y reúso de agua. pp. 113-156. En: *Hacia el Tercer Mileno*. M. Mazari (coord.). México,

Mazari-Hiriart. M., Y. López, R.S. Castillo, *et al*. 2001*a*. Presence of Helicobacter pylori and other enteric bacteria in freshwater environments. Archives of Medical Research 32:1-10.

Mazari-Hiriart, M., Y. López-Vidal y J.J Calva. 2001*b*. *Helicobacter pylori* in water systems for human use in Mexico City. *Water Science and Technology* 43(12):93-98.

Mazari-Hiriart, M., Y. López, S. Ponce de León, *et al*. 2003. Bacteria and disinfection by-products in water from Southern Mexico City. *Archives of Environmental Health* 58(4):233-237

Mazari-Hiriart, M., Y. López-Vidal, S. Ponce de León, *et al*. 2005. Longitudinal Study of Microbial Diversity and Seasonality in the Mexico City Metropolitan Area Water Supply System. *Applied and Environmental Microbiology* 71(9):5129-5137.

Mazari-Hiriart, M., B.G. Cruz, T.L. Bojórquez, *et al*. 2006. Groundwater Vulnerability Assessment for Organic Compounds: Fuzzy Multicriteria Approach for Mexico City. *Environmental Management* 37(3):410-421.

Mazari-Hiriart, M., S. Ponce de L., Y. López, *et al*. 2008. Microbiological Implications of Periurban Agriculture and Water Reuse in Mexico City. *Plus one* 3(5):1-8.

Mills, J.N., G.T. Ksaiaek, B.A. Ellis, *et al*. 1997. Patterns of association with host and habitat: antibody reactive with virus in small mammals in the major biotic communities of Southwestern United States. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 56(3):273-284.

Mook, W.G. 2002. *Isótopos ambientales en el ciclo hidrológico*. Principios y aplicaciones. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

Norris, K., M. Bailey, S. Baker, *et al*. 2010. Biodiversity in the Context of Ecosystem Services. pp 63-104. En: *The UK National Ecosystem Assessment Technical Report*. UK National Ecosystem Assessment. UNEP/WCMC, Cambridge,

Nowak, D.J. y J. Dwyer. 2007. Understanding the Benefits and Costs of Urban Forest Ecosystems. pp. 25-46. En: *Urban and Community Forestry in the Northeast*. J.E. Kuser (ed.). Springer, Washington D.C,

Ochoa, J.M. 2009. *Ciudad, Vegetación e impacto climático*. Erasmus. Barcelona, España.

Ollerton, J. y L. Kamner. 2002. Latitudinal trends in plant-pollinator interactions: are tropical plants more specialized. *Oikos* 98:340-350.

OMS. Organización Mundial de la Salud. 2006. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Ginebra, Suiza.

Ortega, A. y R.N. Farvolden. 1989. Computer analysis of regional groundwater flow and boundary conditions in the basin of Mexico. *Journal of Hydrology* 110:271-294.

Ostfeld, R. y R. Holt. 2004. Are predators good for your health? Evaluating evidence for top-down regulation of zoonotic disease reservoirs. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2:13-20.

Pacheco-Coronel, N. 2010. *Estudio piloto de la frecuencia de parásitos en mamíferos ferales y silvestres en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de la UNAM*. Tesis de Maestría en Ciencias de la Producción y de la salud animal. UNAM, México.

PAHO. Pan American Health Organization. 2001. *Zoonoses and Communicable Diseases Commont to man and animals, vol. I-III*. PAHO. Washington, D.C.

PAOT. Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Gobierno del Distrito Federal. 2010. Presente y futuro de las áreas verdes y del arbolado de la Ciudad de México. En: <*http://www.paot.org.mx/centro/ceidoc/archivos/pdf/libro_areas_verdes.pdf*>, última consulta: 11 de abril de 2013.

PAOT e INIFAP. Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Gobierno del Distrito Federal e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 2010. Cuantificación del Carbono Almacenado en la Vegetación del suelo de Conservación del Distrito Federal. En: <*http://www.paot.org.mx/centro/ceidoc/archivos/pdf/IPA-05-2010_Estudio_Carbono_Difusion_INIFAP-CGEO.pdf*>, última consulta: 10 de abril de 2013.

Payro, de la C. E. 2011. La africanización de las abejas (*Apis mellifera*) en México: Caso Tabasco. En: <*http://pcti. mx/articulos/item/la-africanizacion-de-las-abejas-apis-mellifera-l-en-mexico-caso-tabasco*>, última consulta: 8 de abril de 2013.

Peixoto, I.D. y Abramsom G. 2006. The effect of biodiversity on the hantavirus epizootic. *Ecology* 87(4):873-879.

Peña, R.J. 2008. El agua en México: lejos del desarrollo sostenible. Cinco grandes urbes (Monterrey, Guadalajara, León, San Luis Potosí y ciudad de México). México. En: <*http://www.usc.es/congresos/xiirem/pdf/85.pdf*>, última consulta 20 de abril de 2016.

Pérez, O.C., J. Ceja y G. Vela. 2006. Árboles y muérdagos: una relación que mata. *Contacto* 59:28-34.

Perez-Padilla, R., D. De la Rosa-Zamboni, S. Ponce de Leon, *et al.* 2009. Pneumonia and respiratory failure and respiratory failure from swine-origin influenza A (H1N1) in Mexico. *The new England journal of medicine* 361(7):680-689.

Pérez-Suárez, M., M.E. Fenn, V.M. Cetina-Alcalá y A. Aldrete. 2008. The effects of canopy cover on throughfall and soil chemistry in two forest sites in the México City air basin. *Atmósfera* 21(1):83-100.

Ponce-Macotela, M., G.E. Peralta-Abarca y M. N. Martıínez-Gordillo. 2005. Giardia intestinalis and other zoonotic parasites: Prevalence in adult dogs from the southern part of Mexico City. *Veterinary Parasitology* 131(1-2):1-4.

Pozo, G.A. 2011. *Las chinampas de Xochimilco al despuntar el siglo XXI: Inicio de su catalogación*. UAM, México.

Queijeiro-Bolaños, M., Z. Cano-Santana e I. Castellanos-Vargas. 2011. Distribución diferencial de dos especies de muérdago enano sobre *Pinus hartwegii* en el Área Natural Protegida "Zoquiapan y Anexas", Estado de México. *Acta Botánica Mexicana* 96: 49-57.

Ramos-Rendón, A.K. 2010. *Evaluación poblacional de mamíferos medianos en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, hacia un programa de control de gatos ferales*. Tesis de Maestría. Instituto de Biología, UNAM, México.

Reis, B.R., S.G. Ribeiro, M.R. Felzemburgh, *et al.* 2008. Impact of Environment and Social Gradient on Leptospira Infection in Urban Slums. *Neglected Tropical Diseases* 2(4):1-10.

Remeiras, G. 1974. *Tratado de hidrología aplicada*. Editores Técnicos Asociados, S. A. Barcelona, España.

Rivera, J. 2002. *The potencial sustainability of two contrasting systems in the terrace areas of Mexico City*. Tesis de Doctorado. Imperial College, London.

Rivera, F.A., M.A. De la Peña, R.M. Roa y M.B. Ordoñez. 1999. Seroprevalencia de leptospirosis en perros callejeros del norte de la ciudad de México. *Veterinaria México* 30(1):105-107.

Rivera, J., H. Losada, M. López, *et al.* 2007. Sistema de producción de miel en las áreas peri-urbanas de Milpa Alta, sureste de Ciudad de México. En: <*http://www.lrrd.org/lrrd19/2/rive19029.html*>, última consulta: 8 de abril de 2013.

Riveros, H.G. 1995. Hidrocarburos en la atmósfera de la Ciudad de México. ¿Quién los emite? *Ciencia y Desarrollo* 21(125):13-15.

Riveros, H.G., J. Tejeda, L. Ortíz, *et al.* 1995. Hydrocarbons and carbon monoxide in the atmosphere of Mexico City. *Journal of the Air & Waste Management Association* 45:973-980.

Romero, M., F. Diego y M. Álvarez. 2006. La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista cubana de higiene y epidemiología* 44(2):2-15.

Romero, N.C., C.A. García, M.G. Mendoza, *et al.* 2009. Contaminación por *Toxocara* spp. en parques de Tulyehualco, México. *Revista científica* 19(3):253-256.

Ruedas, A.L., B.J. Salazar, S.D. Tinnin, *et al.* 2004. Community ecology of small mammal populations in Panama following an outbreak of Hantavirus pulmonary syndrome. *Journal of Vector Ecology* 29(1):177-191.

SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2012. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. En: <*http://www.siap.gob.mx*>, última consulta: 8 de marzo de 2013.

Salazar, R. y S. Vásquez. 2001. *Diagnóstico de las principales plagas y enfermedades en el arbolado de la parte sur del Distrito Federal.* Informe Final de Servicio Social Legal. Licenciatura de Agronomía. UAM, México.

Salazar, S., J.L. Bravo y Y. Falcón. 1981. Sobre la presencia de algunos metales pesados en la Ciudad de México. *Geofísica internacional* 20:41-54.

Sampedro-Marin, A.C., Y.Y. Angulo, F.I. Arrieta y D.M. Dominguez. 2011. Alimentación de *Bufo marinus* (Linnaeus, 1758) (Bufonidae: Anura), en una localidad de sucre, Colombia. *Caldasia* 33(2):495-505.

Sánchez Cordero, V., A. T. Peterson, E. Martínez Meyer, R. Flores. 2005. Distribución de roedores reservorios del virus causante del síndrome pulmonar por hantavirus y regiones de posible riesgo en México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)* 21(3):79-91.

Sánchez-Vega, T.J., J. Tay-Zavala, A. Aguilar-Chiu, *et al.* 2006. Cryptosporidiosis and other intestinal protozoan infections in children less than one year of age in Mexico City. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 75(6):1095-1098.

Schjetnan, M., M. Peniche y J. Calvillo. 2008. *Principios de diseño urbano ambiental.* Limusa, México.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 1996 Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 23 de abril de 2003.

——. 2010. *Estudio para la Caracterización y Diagnóstico del Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio de la Cuenca de México.* SEMARNAT/Gobierno del Estado de México/Gobierno del Estado de Tlaxcala/Gobierno del Estado de Hidalgo/ GDF, México.

——. 2012. *Superficie afectada por plagas y enfermedades forestales. Gerencia de Sanidad Forestal*. CONAFOR, México.

Sheinbaum, C. 2008. *Problemática ambiental de la Ciudad de México: Diagnóstico y experiencias de gestión*. 2001-2006. Limusa, México.

SMA. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2004. Mariposas de Chapultepec. Portal de la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal. En: <*http://www.sma.df.gob.mx/sma/index.php?opcion=26&id=200*>, última consulta: 8 de abril de 2013.

——. 2006. *Gestión ambiental del aire en el Distrito Federal*. GDF, México.

——. 2010*a*. Suelo de conservación. En: Cuarto informe de trabajo de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. México.

——. 2012*a*. *Calidad del aire en la Ciudad de México.* Informe 2011. SMA, México.

——. 2012*b*. *Registro de emisiones de gases de efecto invernadero* 2010, Distrito Federal. SMA/GDF, México.

——. 2012*c*. Base de datos de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA).

——. 2012*d*. Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2010. Gases de efecto invernadero y carbono negro. Gobierno del Distrito Federal. México.

——. 2012*e*. Base de datos de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA). En: <*http://www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/productos/basesdedatos/bd_redma.php*>, última consulta: enero de 2013.

——. 2012*f*. Base de datos de la Red Manual de Monitoreo Atmosférico (REDMA). En: <*http://www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/productos/basesdedatos/bd_redma.php*>, última consulta enero de 2013.

——. 2012*g*. Estudio base para el manejo de arbolado urbano infestado por muérdago. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Dirección de Reforestación Urbana, Parques y Ciclovías. En: <*http//www.sma.df.gob.mx/drupc/index.php?opcion=15*>, última consulta: 4 de abril 2015.

——. 2012*h*. Problemática de las áreas verdes urbanas. SMA. Dirección de Reforestación Urbana, Parques y Ciclovías. En: <*www.sma.df.gob.mx/drupc/index.php opcion=22*>, última consulta: 4 de abril 2015

SMA y SAGARPA. 2006. *Atlas de vegetación y uso del suelo. Suelo de conservación del Distrito Federal*. México

SMA y UAM. Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal y Universidad Autónoma Metropolitana. 2010. *Valoración de los Servicios Ecosistémicos en el suelo de conservación del Distrito Federal*. México.

Smith, G.J., D. Vijaykrishna, J. Bahl, *et al.* 2009. Origins and evolutionary genomics of the 2009 swine-origin H1N1 influenza A epidemic. *Nature* 459 (7250):1122-1126.

Smith, P., M. Ashmore, H. Black, P. Burgess, *et al.* 2011. Regulating Services. pp. 535-596. En: *The UK National Ecosystem Assessment Technical Report*. UK National Ecosystem Assessment, UNEP-WCMC, Cambridge,

Solís, C., J. Sandoval, H. Pérez-Vega y M. Mazari-Hiriart. 2006. Irrigation water quality in southern Mexico City based on bacterial and heavy metal analyses. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 249:592-595.

Solorio-Rivera, J.L., J. Segura-Correa y L.G. Sánchez-Gil. 2007. Seroprevalence of and risk factors brucelosis on goats in herds in Michoacán, México. *Preventive Veterinary Medicine* 82(3-4):282-290.

SS. Secretaría de Salud. 1993*a*. Norma Oficial Mexicana. NOM-020-SSA1-1993. Publicada el 11 de noviembre de 1993 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 31 de julio del 2000.

——. 1993*b*. Norma Oficial Mexicana. NOM-025-SSA1-1993. Publicada el 18 de agosto de 1994 en el Diario Oficial de la Federación. Ultima reforma publicada el 22 de junio del 2005.

——. 1995. Norma Oficial Mexicana. NOM-127-SSA1-1994. Publicada el 30 de noviembre de 1995 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 20 de octubre de 2000.

——. 2001. *Programa de Acción: Rabia*. Secretaría de Salud (SS). México

——. 2010. *Sistema nacional de vigilancia epidemiológica. Epidemiología*. Secretaría de Salud. Sistema Único de Información: Anuarios de Morbilidad 2010.

Suzán, G., y G. Ceballos. 2005. The role of feral mammals on wildlife infectious disease prevalence in two nature reserves within Mexico City limits. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 36:479-484.

Suzán, G., G. Ceballos, J.N. Mills, *et al.* 2001. Serologic evidence of hantavirus infection in sigmodontine rodents in Mexico. *Journal of Wildlife Diseases* 37(2):391-393.

Suzán G., J.T. Giermakowski, E. Marcé, *et al.* 2006. Modeling hantavirus reservoir species dominance in high seroprevalence areas on the Azuero Peninsula of Panama. *American Journal of Tropical Medicine And Hygiene* 74(6):1103-1110.

Suzán, G., E. Marcé, J.T. Giermakowski, *et al.* 2009. Experimental Evidence for Reduced Rodent Diversity Causing Increased Hantavirus Prevalence. *Plus One* 4(5): 54-61.

Taylor, M.L., A.G. Rodríguez y J.A. Ramírez. 2008. Histoplasma capsulatum y epidemiología de la histoplasmosis. En: *Actualidades en Micología Médica, Contenido Temático del VII Diplomado en Micología Médica "Dr. Amado González Mendoza"*. T.J. Méndez, M.R. López y F.H. Hernández (eds.). Departamento de Microbiología y Parasitología, Facultad de Medicina, UNAM, México, pp. 211-219.

Terborgh, J. 1986. Community aspects of frugivory in tropical forests. *The American Naturalist* 132: 87-106.

Treshow, M. 1965. Evaluation of vegetation injury as an air pollution criterion. *Journal of the Air Pollution Control Association* 15:266-9

Trilla, G.A. y P.L. Fernández. 2000. Infecciones causadas por arbovirus y arenavirus: viriasis transmitidas por artrópodos y roedores.*Medicina Interna* (2)330:2857-2864.

True, D. 1993. *Hummingbirds of North America: attracting, feeding and photographing*. University of New Mexico, Albuquerque.

UAEM y SMA. Universidad Autónoma del Estado de Morelos y Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2010. *Actualización del Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal*. UAEM/SMA, México.

Uribe, R. J.L., N.E. Guzmán, G.J. Hunt, *et al.* 2003. Efecto de la africanización sobre la producción de miel, comportamiento defensivo y tamaño de las abejas melíferas (*Apis mellifera*) en el altiplano mexicano. *Veterinaria México* 34:47-59.

Vado, S.I., M.F. Cárdenas, D.B. Jiménez, *et al.* 2002. Clinical-epidemiological study of leptospirosis in humans and reservoirs in Yucatán, México. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo* 44:335-340.

Valiente-Banuet. A. 2002. Vulnerabilidad de los sistemas de polinización de cactáceas columnares de México. *Revista Chilena de Historia Natural* 75:99-104.

Van Lenteren, J.C. 2006. Ecosystem services to biological control of pests: why are they ignored? *Proceedings of the Netherlands. Entomolgy Society Meeting* 17:103-111.

Vázquez Alarcón, A., L. J. Cajuste, R. Carrillo, *et al.* 2005. Límites permisibles de acumulación de cadmio, níquel y plomo en suelos del Valle del Mezquital, Hidalgo. *Terra Latinoamericana* 23(4):447-455.

Velasco, E., J.F. Reséndiz, L. Sandoval, *et al.* 2002. Diagnóstico sanitario de los bosques del Distrito Federal, México. *Ciencia Forestal en México* 27(91):7-26.

Velasco-Castrejón, O., B. Rivas-Sánchez, M.E. Sánchez-Spíndola, *et al.* 2009. Leptospirosis crónica en México: diagnóstico microscópico y evidencias que respaldan su existencia e importancia. *Revista Mexicana de Patología Clínica* 56(3):157-167.

Velasco-Villa A., M. Gómez-Sierra, G. Hernández-Rodríguez, et al. 2002. Antigenic diversity and distribution of rabies virus in Mexico. *Journal of Clinical Microbiolology* 40(3):951-958.

Velasco-Villa A., L.A. Orciari, V. Souza, *et al.* 2005. Molecular epizootiology of rabies associated with terrestrial carnivores in Mexico. *Virus Research* 111(1):13-27.

Velasco-Villa A., L.A. Orciari, I.V. Juárez, *et al.* 2006. Molecular diversity of rabies viruses associated with bats in Mexico and other countries of the Americas. *Journal of Clinical Microbiology* 44(5):1697-1710.

Velázquez A., F. Romero y J. López-Paniagua. 1996. *Ecología y conservación del conejo Zacatuche y su hábitat*. UNAM/FCE, México.

Villegas, G., A. Bolaños y L. Olguín. 2001. *La ganadería en México*. Instituto de Geografía, Plaza y Valdés. México.

Villers-Ruiz, L. e I. Trejo-Vázquez. 2004. Evaluación de la vulnerabilidad en los ecosistemas forestales. pp. 239-254. En: *Cambio climático: una visión desde México*. J. Martínez y A. Fernández Bremauntz (eds.). SEMARNAT/INE, México,

Vörösmarty, C.J., C. Lévêque, C. Revenga, *et al.* 2005. Freshwater. pp. 165-208. En: *Ecosystems and human well-being: Current state and trends, vol. 1*. R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.) Island Press, Washington, D.C,

Wallace J.M., y P.V. Hobbs. 1977. Atmospheric Science: An Introductory Survey. *Elsevier Academic Press.*

Waser, N.M., L. Chittka, M. Price, *et al.* 1996. Generalization in pollinations systems and why it matters. *Ecology* 77:1043–1060.

Wayne, A.S., H.H. Lyon y J.T. Warrant. 1996. *Diseases of trees and Shrubs*. Cornell University, Ithaca, N.Y.

Wetzel, R. G. 2001. *Limnology*. Lake and river ecosystems. Academic Press, San Diego.

Wiebes, J. T. 1979. Co-evolution of figs and their insect pollinators. *Annual Review of Ecology and Systematics* 10:1-12.

Williams, I.H., S.A. Corbet y J.L. Osborne. 1991. Beekeeping, wild bees and pollination in the European Community. *Bee World* 72:170-180.

WWF. World Wildlife Fund. 2005. Guía de especies mexicanas: Mamíferos. En: <*http://www.wwf.org.mx/wwfmex/descargas/g03_mamif_btsno.pdf*>, última consulta: enero 2013.

Yáñez-Ordóñez, O. e I. Hinojosa-Díaz. 2004. La colección himenopterológica (Insecta) del museo de zoología "Alfonso l. Herrera" de la Facultad de Ciencias, UNAM, México. *Acta Zoológica Mexicana* 1:167-197.

Yates, T.L., J.N. Mills, C.A. Parmenter, et al. 2002. The ecology and evolutionary history of an emergent disease: Hantavirus pulmonary syndrome. *Bioscience* 52:989-998.

Zambrano, L., V. Contreras, M. Mazari-Hiriart y A. Zarco-Arista. 2009. Spatial heterogeneity of water quality in a high altitude tropical managed freshwater system. *Environmental Management* 43:249-263.

Zarco A.E., M. Mazari-Hiriart, L. Luna, G. Cruz, *et al*. 2006. Propensión a la contaminación del agua en la subcuenca Xochimilco. "Hortillonages" y chinampas ¿Cuál gestión y cuál porvenir para esto espacios frágiles y amenazados? *Segundo Coloquio Franco-Mexicano*. Amiens, Francia.

Zuk, M., G. Tzintzun-Cervantes y L. Rojas-Bracho. 2007 *Tercer almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en nueve ciudades mexicanas*. Ciudad de México, INE/SEMARNAT. México.

Estudio de caso

Las barrancas generadoras de servicios ecosistémicos: el caso de la barranca del río San Borja

Lucia Oralia Almeida Leñero
Elorduy Alya Ramos Ramos
Teresa Margarita González Martínez

Las barrancas son depresiones geográficas que sirven de cauce a los escurrimientos naturales de ríos, arroyos y escurrimientos pluviales, formando parte de un complejo sistema hidrológico. La Ciudad de México cuenta con cerca de 100 barrancas, distribuidas principalmente en el sur poniente en las delegaciones Álvaro Obregón, La Magdalena Contreras, Miguel Hidalgo, Cuajimalpa y Tlalpan (INE 2007*a*).

Se encuentran en muchos casos inmersas en la mancha urbana, en éstas, aún se mantienen bosques de gran relevancia debido a que presentan ciertas características escénicas y biofísicas como la cobertura forestal, la presencia de especies nativas y suelos capaces de infiltrar agua (GDF 2000, SMA 2012). Además, éstas son reservorios de flora y fauna silvestre, por lo que en su conjunto pueden funcionar como corredores biológicos al interior de la ciudad.

Las barrancas proporcionan distintos servicios ecosistémicos (SE) que influyen positivamente sobre el funcionamiento y bienestar de la entidad, como con la regulación de inundaciones y el clima, la retención de partículas suspendidas en el aire, la fijación de dióxido de carbono, la belleza escénica y la contribución a la recarga del acuífero (INE 2007*a*).

A pesar de que algunas barrancas han sido decretadas como áreas de valor ambiental (AVA) (para mayor información consultar el respectivo capítulo), de manera general presentan un marco legal deficiente que dificulta su conservación y favorece la multiplicación de ilícitos ambientales. La fuerte presión demográfica genera el cambio de uso de suelo ligado a construcciones irregulares, que propicia que miles de familias, comúnmente de bajos recursos económicos, vivan en las barrancas, expuestas a riesgos de deslaves y de salud, asociados a la inexistencia o ineficiencia de servicios urbanos básicos (INE 2007*a*).

Este ambiente de irregularidad detona procesos de deterioro ambiental como la aparición de drenajes a cielo abierto, la mezcla de aguas pluviales con aguas grises domiciliarias, la acumulación de residuos sólidos, el vertimiento de material de excavaciones y desechos de construcción en áreas verdes y en los márgenes de ríos, etc. (INE 2007*b*) (figura 1).

Las barrancas al degradarse se convierten en trampas de basura y en focos de infección por la proliferación de especies nocivas, como roedores, y por la generación de malos olores resultado de la descomposición de los desechos. La eliminación de la vegetación y el arrastre de desechos sólidos modifican el flujo normal del agua provocando inundaciones y el reblandecimiento y desgajamiento de los taludes. Esto se ocasiona por el deterioro de la infraestructura hidráulica (como son los vasos de regulación y sistemas de drenaje) que impulsa el azolve en la infraestructura hidráulica de las partes bajas.

Los problemas ambientales, políticos y socioeconómicos ligados a las barrancas, hacen necesaria la atención urgente mediante el

Almeida-Leñero, L., A. Ramos y T.M. González-Martínez. 2016. Las barrancas generadoras de servicios ecosistémicos: el caso de la barranca del río San Borja. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.202-214.





Figura 1. Algunos de los principales problemas observados en las barrancas de la ciudad: *a*) presencia de basura, *b*) asentamientos irregulares. Foto: Equipo multidisciplinario de la UNAM del proyecto "Propuesta de rescate ambiental integral de la barranca del río San Borja".

desarrollo de planes de manejo que aborden la problemática desde un punto de vista interdisciplinario. La responsabilidad del rescate de las barrancas no es una atribución exclusiva de la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA) sino que atañe a todos los niveles de gobierno de la ciudad, como la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (SEDUVI), Protección civil de la ciudad y la Procuraduría Ambiental de Ordenamiento Territorial (PAOT) (INE 2007*b*). Estas instancias deben de trabajar de manera coordinada con otros actores de la sociedad civil, específicamente los habitantes de la zona, las organizaciones civiles y los grupos académicos.

En este capítulo se presenta el plan de rescate ambiental de la barranca del río San Borja (BRSB), como una propuesta para abordar de manera integral la problemática en barrancas afectadas por procesos de urbanización y deterioro ambiental. Este plan se propuso en el año 2009 por un grupo interdisciplinario de académicos de la UNAM a petición de la delegación Álvaro Obregón (Facultad de Ciencias-UNAM 2010). En él se definió que la zona de estudio incluyera la porción de la barranca que aún presenta vegetación (área natural), y su zona urbanizada circundante (área urbana). Con base en las características socioeconómicas, ambientales y topográficas se hizo una zonificación, que permitió hacer un diagnóstico de la situación de la zona y plantear líneas de acción enfocadas en la recuperación de la vocación hidrológica de la barranca, potenciar la generación de servicios ecosistémicos y mejorar la relación de los habitantes de las colonias del área urbana con el área natural de la barranca.

Descripción

La BRSB se ubica al noreste de la delegación Álvaro Obregón y forma parte de la cuenca del río Becerra, presenta una superficie de 195.4 ha. Se encuentra gravemente afectada por las actividades humanas, principalmente por el crecimiento de la mancha urbana. El proceso de urbanización comenzó hace más de 40 años con los asentamientos de los primeros habitantes en las laderas y el cauce (que corresponde a la zona federal). Hoy en día sólo 8% de su superficie es área natural, mientras 92% corresponde al área urbana, compuesta por ocho colonias que albergan a una población de 40 745 habitantes (INEGI 2010) (figura 2).

A pesar de las condiciones de urbanización y deterioro de esta barranca, existen elementos que le confieren importancia en términos ambientales, como la vegetación que se distribuye en la zona natural (cuadro 1). También es

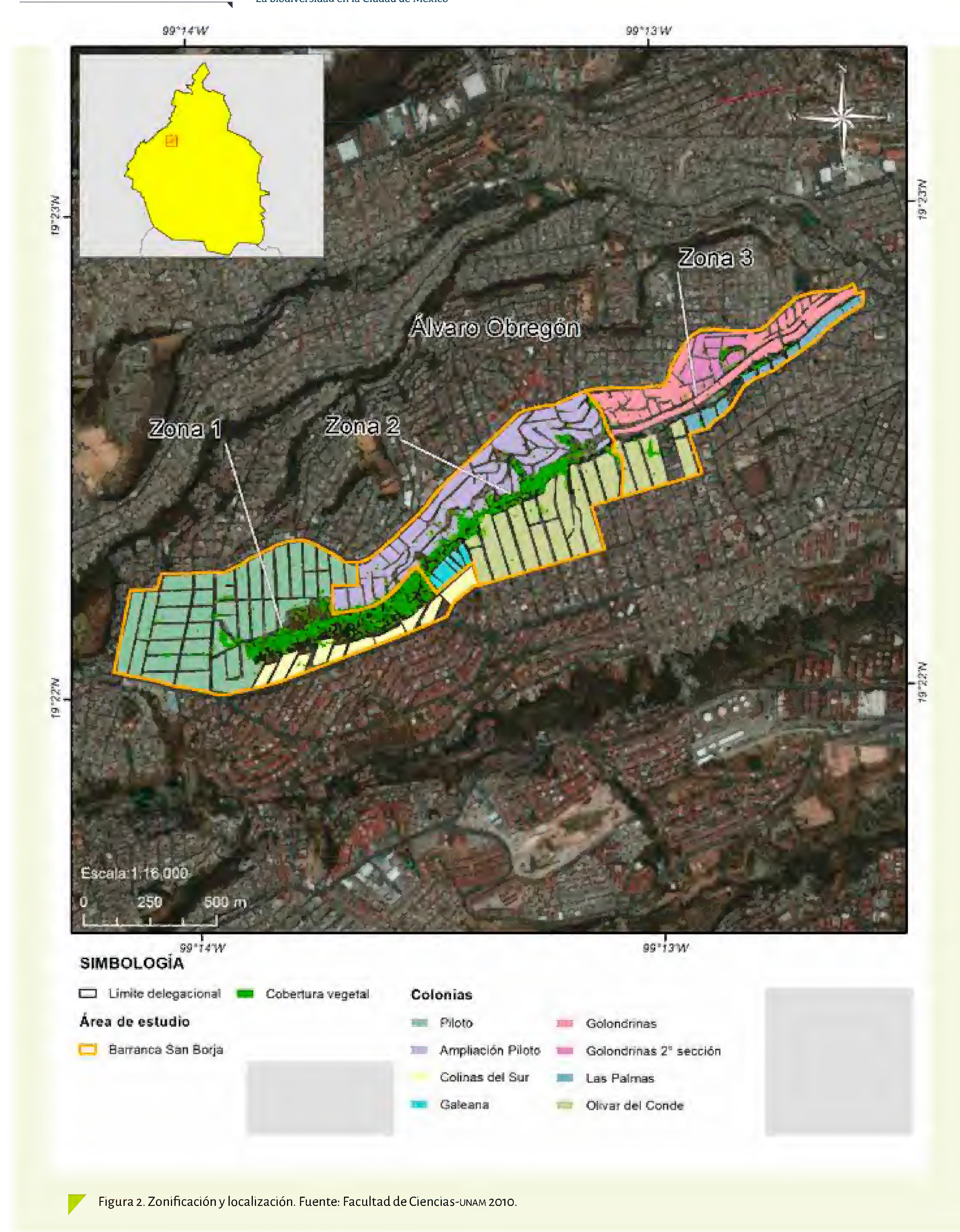


Figura 2. Zonificación y localización. Fuente: Facultad de Ciencias-UNAM 2010.

el hábitat de especies propias de la cuenca de México, como: *Alnus jorullensis* (aile), *Cupressus lusitanica* (cedro) y *Quercus rugosa* (encino blanco) (cuadro 2), las cuales constituyen un relicto de los ecosistemas que se distribuyeron en las barrancas en el pasado, además, están bien adaptadas a las condiciones locales y desempeñan un papel importante en la recuperación de la estructura, la riqueza y la diversidad de los ecosistemas degradados (CONAFOR 2009).

También existen una serie de plantas vasculares que están favorecidas por condiciones de perturbación. En el cuadro 3 se muestran las especies presentes en la BRSB consideradas introducidas o malezas, y por lo tanto como especies indicadoras de perturbación.

Las condiciones en la barranca no son homogéneas, la parte alta (zona 1) representa el área natural más importante en términos de superficie y de conservación de la vegetación, debido a que su complicada accesibilidad ha limitado el crecimiento urbano (figura 3), aunque sin lograr evadir los tiraderos de basura clandestinos. En esta área, la vegetación dominante es el bosque mixto (de hasta 20 m de altura), que cubre aproximadamente 65% del área natural, con especies como *Cupressus lusitanica* (cedro) y *Quercus rugosa* (encino); así como algunos manchones de vegetación secundaria arbustiva y pastizal inducido. Esta zona presenta la población con mayores ingresos y menor grado de analfabetismo, con relación al resto de la barranca (Facultad de Ciencias-UNAM 2010).

En la parte media de la barranca (zona 2) se observa vegetación abierta con bosque mixto, alternando con vegetación secundaria arbustiva y herbácea, pastizal inducido y áreas sin vegetación. La degradación es mayor que en la parte alta, lo que podría estar relacionado con

Cuadro 2. Especies nativas que aún se encuentran en la BRSB.

Nombre científico	Nombre común
Alnus jorullensis	Aile
Cupressus lusitanica	Cedro
Echeveria sp.	Siempreviva
Eupatorium pazcuarense	-
Muhlenbergia macroura	Zacatón
Quercus rugosa	Encino blanco

Fuente: elaboración propia con información de Facultad de Ciencias-UNAM 2010.

Cuadro 1. Superficie por tipo de vegetación y uso del suelo en la BRSB.

Tipos de vegetación y uso del suelo	Superficie (ha)
Bosque mixto	6.6
Bosque mixto con vegetación secundaria	5.4
Bosque mixto con pastizal inducido	1.4
Pastizal inducido con vegetación secundaria	1.3
Pastizal inducido con bosque mixto	0.2
Terrazas de vegetación arbustiva	0.3
Sin vegetación	0.1
Superficie total	15.3

Fuente: elaboración propia con información de Facultad de Ciencias-UNAM 2010.

Cuadro 3. Especies indicadoras de perturbación en la BRSB.

Especies indicadoras de perturbación	Nombre común
Bidens odorata	Aceitilla
Brassica rapa	Nabo de campo
Ipomoea purpurea	Trompetilla
Iresine diffusa	-
Phytolacca icosandra	Jaboncillo
Ricinus communis	Ricino
Senecio roldana	-

Fuente: elaboración propia con información de Facultad de Ciencias-UNAM 2010.



Figura 3. Vegetación de la parte alta de la barranca. Foto: Equipo multidisciplinario de la UNAM del proyecto "Propuesta de rescate ambiental integral de la barranca del río San Borja".

una mayor accesibilidad (figura 4). El perfil socioeconómico está ligado a la construcción de viviendas que no están conectadas al drenaje, por lo que las aguas residuales se vierten a la barranca formando un cauce a cielo abierto (figura 5). En el límite inferior de esta zona hay una presa reguladora de avenidas, en la que se capta el escurrimiento de aguas residuales y pluviales (figura 6).

La parte más baja (zona 3) presenta el acceso principal a la barranca y no está en contacto directo con ella, por lo que la vegetación es escasa y se restringe a los árboles de ornato en las banquetas y camellones (figura 7). Debido a su ubicación, esta zona es suceptible a sufrir inundaciones durante las crecientes extraordinarias. Además se caracteriza por un mayor grado de marginación social, como en la colonia Golondrinas 2ª sección, donde se concentra la población de menores ingresos y mayor grado de analfabetismo.

Servicios ecosistémicos

En la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MA 2005), se distinguen cuatro categorías de SE: provisión, regulación, culturales y soporte. De acuerdo con esta clasificación la BRSB provee 10 servicios (cuadro 4).

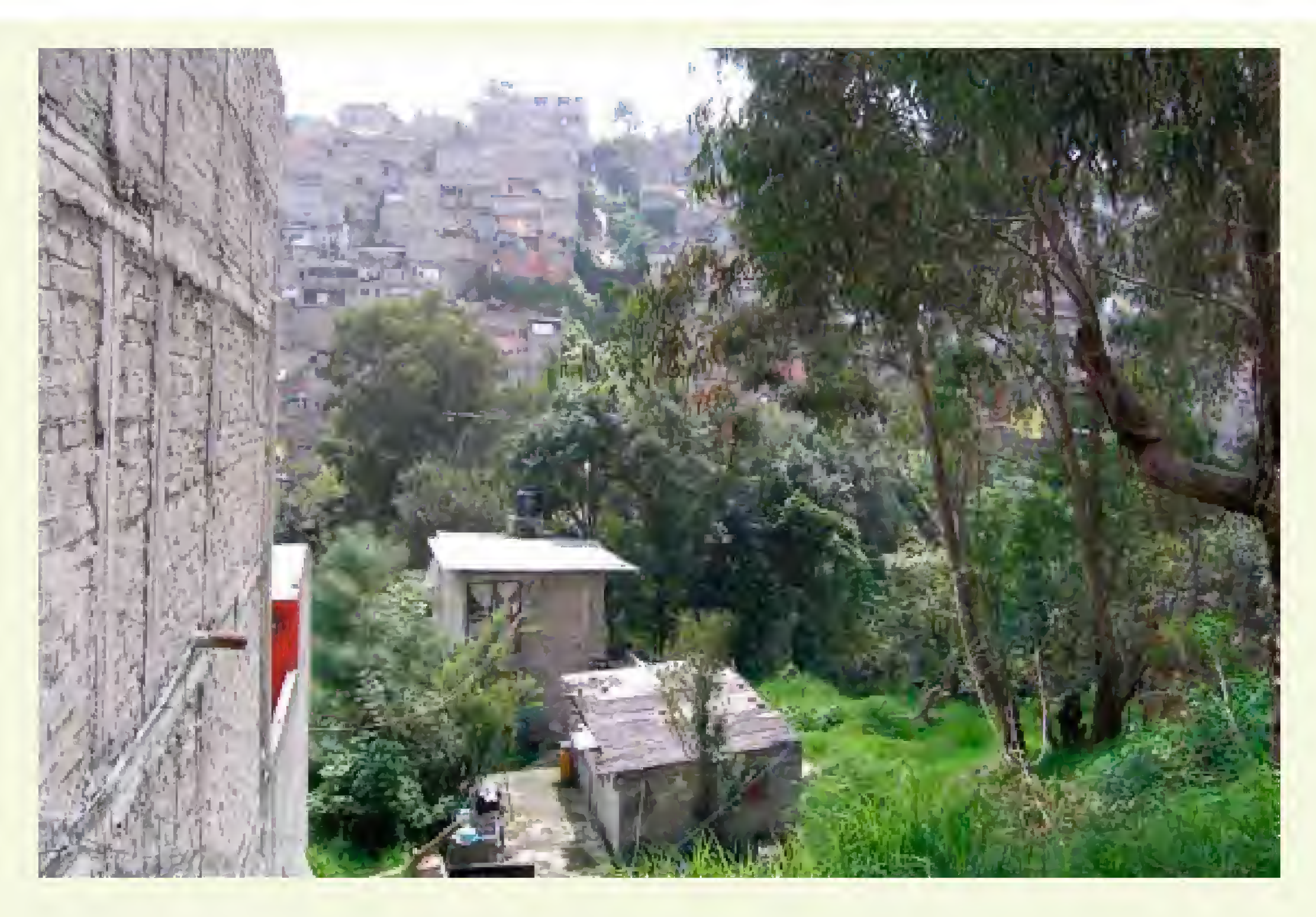


Figura 4. Vegetación y asentamientos en la parte media de la barranca. Foto: Equipo multidisciplinario de la UNAM del proyecto "Propuesta de rescate ambiental integral de la barranca del río San Borja".







Figura 5. Descargas de aguas residuales que forman un cauce a cielo abierto en la parte media de la barranca. Foto: Equipo multidisciplinario de la UNAM del proyecto "Propuesta de rescate ambiental integral de la barranca del río San Borja".



Figura 6. Presa reguladora de avenidas ubicada en la parte media de la barranca. Foto: Equipo multidisciplinario de la UNAM del proyecto “Propuesta de rescate ambiental integral de la barranca del río San Borja”.



Figura 7. Parte baja de la barranca. Foto: Equipo multidisciplinario de la UNAM del proyecto “Propuesta de rescate ambiental integral de la barranca del río San Borja”.

Impulsores de cambio

Los SE que proporciona la BRSB están seriamente amenazados por actividades y procesos humanos que provocan cambios negativos en los ecosistemas. Se denominan impulsores de cambio directos al crecimiento de la mancha urbana, la acumulación de residuos sólidos y la descarga de aguas residuales que tienen influencia sobre los ecosistemas. Los impulsores de cambio indirectos, operan más difusamente mediante la activación de uno o más impulsores directos. Por ejemplo la deficiente accesibilidad y conectividad en la zona ocasiona que los habitantes viertan sus desechos directamente a la barranca lo que genera acumulación de residuos sólidos. La marginación social y la falta de infraestructura de saneamiento, también actúan de manera indirecta en el deterioro de la zona (cuadro 5 y 6).

Estrategia de rescate y líneas de acción

Para orientar espacialmente el rescate de la BRSB (figura 8) se tomó en cuenta la zonificación (parte alta, media y baja), lo cual permitió establecer las posibles vocaciones del territorio y acciones de rescate diferenciadas. Para el rescate integral de la BRSB se propusieron ocho líneas de acción prioritarias que permitirán recuperar los servicios ecosistémicos y la biodiversidad de la barranca. Éstos incluyen aspectos de vegetación, hidrología, obras hidráulicas, espacios públicos, manejo de residuos sólidos, accesibilidad, mobiliario y equipamiento urbano (cuadro 7).

A pesar de la importancia de poner en marcha las líneas de acción, hasta el momento la falta de recursos económicos y el cambio de las autoridades han influido en que no se hayan implementado.

Cuadro 4. Servicios ecosistémicos que actualmente se están generando en la barranca.

Clasificación	Tipo de servicios y descripción
Provisión	Alimentos. Siembra de hortalizas; lechuga, jitomate, calabazas, pepinos, rábanos y frijoles para autoconsumo.
Regulación	Regulación del microclima. La vegetación proporciona un microclima más fresco y húmedo que en las zonas donde sólo hay construcciones. Regulación de flujos de agua. Es una cuenca de respuesta rápida ante los eventos de lluvia intensa. La vegetación ayuda a disminuir la velocidad y volumen de los escurrimientos pluviales. Control de la erosión. La vegetación ayuda a controlar los procesos erosivos, pero el nivel de azolve de la presa muestra que se están generando muchos sedimentos, causados probablemente por la pérdida de vegetación y los sedimentos de las aguas residuales. Polinización. En la vegetación natural hay presencia de polinizadores.
Culturales	Recreación. Presencia de áreas (zona 2 y 3) donde se realizan actividades recreativas.
Soporte	Provisión de hábitat. Presencia de bosque mixto muy deteriorado. Alberga 48 especies de plantas, de las cuales seis son nativas de la cuenca de México (cuadro 2). Formación y retención de suelo. La vegetación en la zona natural contribuye a la formación y retención del suelo, los cuales tienen una profundidad media inferior a 20 cm. Producción de oxígeno. La vegetación contribuye a la producción de oxígeno. Ciclo del agua. En las zonas con vegetación se llevan a cabo procesos hidrológicos como: infiltración, escurrimiento superficial y evapotranspiración; que funcionan de manera muy distinta a lo que ocurre en las zonas pavimentadas.

Fuente: elaboración propia con base en la información de la Facultad de Ciencias, UNAM 2010.

Cuadro 5. Impulsores de cambio directo con efectos sobre los servicios ecosistémicos en la barranca.

Impulsor de cambio directo	Descripción	Ejemplos sobre los efectos en los SE
Crecimiento de la mancha urbana	En los últimos años el crecimiento urbano continúa hacia los márgenes de la barranca, sin importar que sea una zona considerada de alto riesgo.	La mancha urbana, al sustituir la vegetación natural disminuye el SE de regulación de microclima.
Acumulación de residuos sólidos	En la zona natural, se generan graves acumulaciones de residuos sólidos. A pesar de que se han realizado actividades de saneamiento, este es un problema recurrente que impacta negativamente la calidad del suelo y el agua, es un foco de infección, promueve la proliferación de fauna nociva y deteriora la calidad estética del paisaje.	La acumulación de residuos sólidos, al contaminar el suelo, disminuye la provisión de alimentos.
Descargas de agua residuales	Las descargas provienen de 140 ha de zona urbanizada. Cerca del 60% de las aguas sanitarias descargan directamente a la BRSB. La concentración de bacterias en todos los sitios y temporadas monitoreados, supera el límite máximo permisible de coliformes fecales, que según la normatividad mexicana no debe exceder las 2000 unidades formadoras de colonias en 100 ml, para el promedio mensual y diario.	Al contaminar el suelo afectan la microbiota del mismo, lo que disminuye el servicio de provisión de hábitat.

Fuente: elaboración propia con información de Facultad de Ciencias-UNAM 2010.

Cuadro 6. Impulsores de cambio indirecto con efectos sobre los servicios ecosistémicos en la barranca.

Impulsor de cambio indirecto	Descripción
Marginación social	Un sector importante de la población presenta marginación y pobreza urbana, los esfuerzos gubernamentales se enfocan en tratar de atender los problemas sociales, más que los ambientales.
Inseguridad	Ambiente de riesgo en el área natural, por la delincuencia. La ausencia de vigilancia y de alumbrado público impacta negativamente en la calidad de vida y dificulta el establecimiento y mantenimiento de actividades de conservación.
Falta de infraestructura de saneamiento	Existen 38 subsistemas de colectores de aguas residuales, cada uno con diferentes áreas de influencia y capacidad, no todas las viviendas están conectadas a él, sobre todo en los asentamientos irregulares, provocando que muchas descargas sean vertidas hacia la barranca. Existe un servicio de recolección de residuos sólidos ineficiente; que carece de días, horarios, paradas específicas. Además, no existe infraestructura adecuada para permitir el acceso de los camiones recolectores.
Ineficiente accesibilidad y conectividad	La topografía de la barranca y la escasa planeación de las vías de acceso, provocan que la zona natural sea poco accesible y visible. Lo cual impide la llegada de camiones y personal, para la recolección de basura y mantenimiento de las áreas verdes. Asimismo, se dificulta la vigilancia para impedir que se tire basura.

Fuente: elaboración propia con información de Facultad de Ciencias-UNAM 2010.

Consideraciones finales

Es prioridad que las líneas de acción planteadas se lleven a cabo y tengan continuidad, de esta manera se favorecerá que la barranca mantenga la provisión de servicios ecosistémicos como la purificación del aire, la filtración del agua y el mantenimiento de la biodiversidad. Sin embargo, hasta este momento la falta de recursos económicos y los aspectos políticos han influido en que no se haya implementado esta estrategia. La experiencia aquí plasmada constituye un marco metodológico que puede replicarse y servir de base para resolver o atenuar la problemática socio-ambiental que enfrentan las barrancas de la capital, la cual está ligada a la alta marginalidad, la falta de infraestructura para el manejo de los residuos y del agua, así como la delincuencia. La intervención en las barrancas debe tener un enfoque integral y sistémico, que incorpore a todos los actores sociales involucrados en su manejo para que en conjunto puedan asesorar y mejorar la calidad de vida de los habitantes.

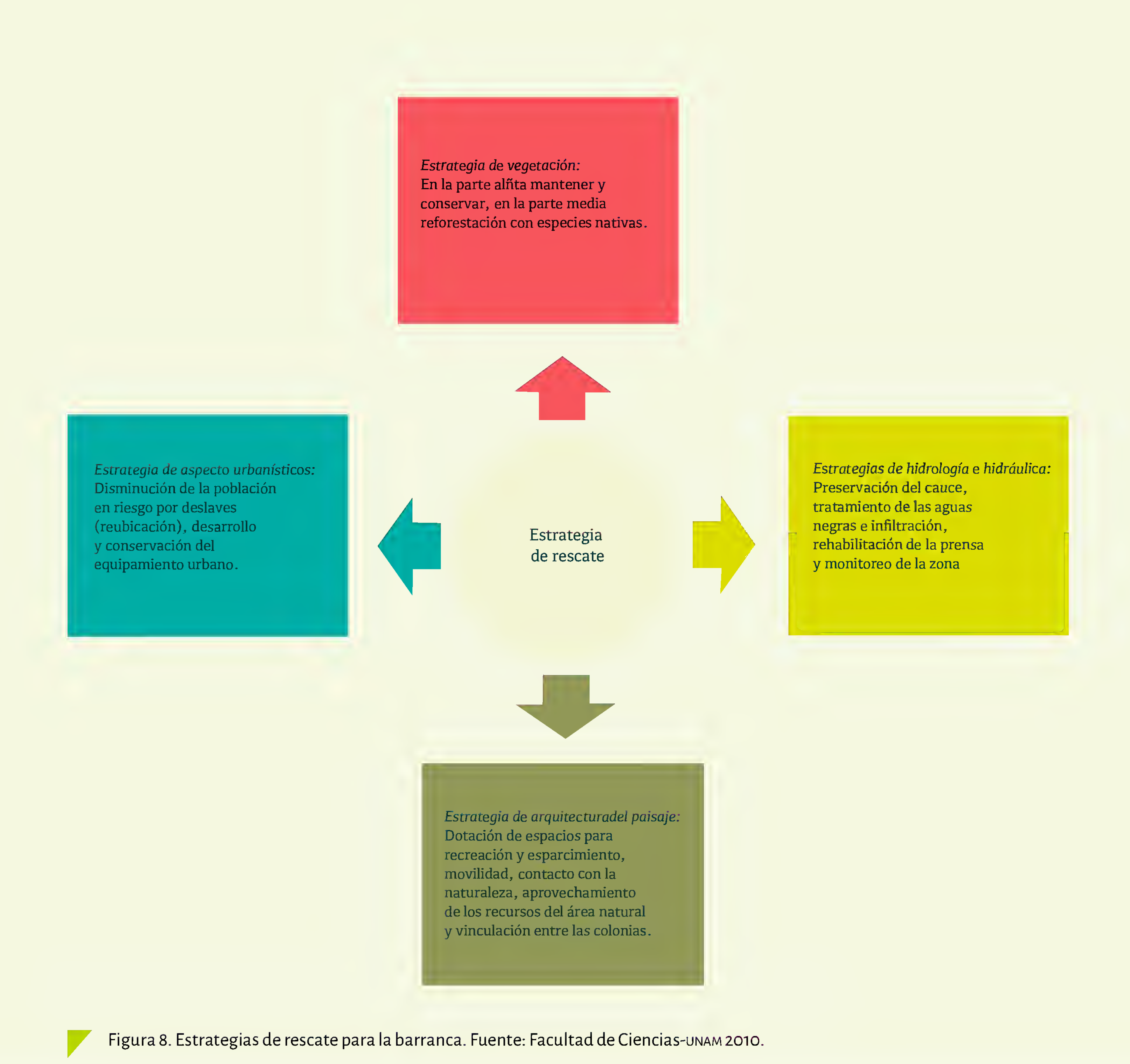


Figura 8. Estrategias de rescate para la barranca. Fuente: Facultad de Ciencias-UNAM 2010.

Cuadro 7. Líneas de acción prioritarias.

Líneas de acción	Objetivos	SE que se potenciarán
Planeación integral de colectores marginales	Identificar las descargas para proyectar los nuevos colectores o rehabilitar los existentes.	Control de enfermedades. Contribuir a la restauración evitando la contaminación por aguas residuales que generan vectores de enfermedades y son un medio de reproducción de organismos patógenos para la salud humana.
Planta de tratamiento	Tratar las aguas sanitarias. Generar aguas residuales tratadas, con un destino inmediato al interior de la barranca.	Provisión de agua para riego. Tratamiento de agua residual, para utilizarla en el riego de vegetación y en los cultivos de la zona durante la temporada de estiaje. Control de enfermedades. Esta acción contribuirá a restaurar la zona, evitando la contaminación por aguas residuales que generan vectores de enfermedades y son un medio de reproducción de organismos patógenos para la salud humana.
Rehabilitación y operación de la presa del río San Borja	Desazolvar anualmente el embalse de la presa y llevar a cabo la rehabilitación de la infraestructura para su operación. Regular las crecientes ordinarias y extraordinarias que generan escurrimientos con alta probabilidad de generar daño sobre las vialidades de la zona baja.	Provisión de hábitat. Contemplando la eliminación de las aguas residuales, la presa puede servir como un embalse en el que habite o se alimente la fauna silvestre. Control de inundaciones. Incorporando la presa al correcto funcionamiento hidrológico de la barranca, se puede contribuir a disminuir considerablemente el riesgo de inundaciones en la parte baja.
Manejo integral de residuos sólidos y modificación de rutas de barrido y recolección de residuos sólidos	Promover el manejo integral de residuos sólidos. Reducir y separar los residuos generados por los pobladores. Crear un Centro de Manejo Integral CMIRS para reutilizar los residuos ya sea para su venta o para el diseño de las áreas públicas. Fomentar la generación de empleos entre la población local mediante el programa de manejo integral de residuos sólidos. Mejorar las rutas de barrido y de recolección. Disminuir la concentración de residuos sólidos en la barranca. Ampliar la cobertura de recolección de residuos sólidos.	Provisión de hábitat. La fauna y la flora nativa son escasas, por lo que se espera que la mejora de las condiciones al retirar los residuos sólidos contribuya a potencializar este servicio. Polinización. Mantener un hábitat adecuado permitirá atraer a polinizadores que son indispensables para los cultivos de la zona. Control de enfermedades. Esta acción contribuirá a evitar la acumulación de residuos sólidos que generan vectores de enfermedades y son un medio de reproducción de organismos patógenos para la salud humana.
Drenaje pluvial vial y pavimento estriado	Conducir el agua de lluvia por un sistema de drenaje pluvial. Infiltrar el agua pluvial con pozos de absorción. Reconstruir el cauce natural de los escurrimientos que se han perdido al pavimentar toda el área.	Regulación de inundaciones. Mejorar el funcionamiento hidrológico de la zona, disminuyendo el riesgo a las inundaciones. Recarga de acuíferos. Se potenciará la capacidad de infiltración del agua en la barranca.

Cuadro 7. Continuación

Líneas de acción	Objetivos	SE que se potenciarán
Restauración de la vegetación	Mantener y conservar la vegetación en condiciones fitosanitarias óptimas (principalmente en la parte alta de la barranca). Introducir plantas para la rehabilitación de la vegetación y la retención del suelo. Sanear la zona a través del retiro de plantas en mal estado, especies invasoras, plagas, y basura. Restaurar con especies adecuadas, de preferencia nativas. Incrementar la cobertura vegetal en el área urbana (zona baja de la barranca y laderas).	Regulación del clima. La reforestación de la zona permitirá aumentar la capacidad de almacenamiento de carbono, contribuyendo a reducir los gases de efecto invernadero. Regulación de flujos de agua (control de inundaciones e infiltración). Prevención de inundaciones mediante la reforestación y construcción de obras para disminuir la velocidad de los escurrimientos y promover la recarga de acuíferos. Actualmente las crecientes pluviales no son reguladas, por lo que pasan directamente a un colector subterráneo que no tiene la capacidad de conducirlas hasta la presa, provocando la saturación del colector e inundaciones en la parte baja. Control de la erosión. Se puede potenciar con la restauración de la vegetación y la construcción de obras de conservación de suelo y retención de sedimentos. Provisión de hábitat. La fauna y flora nativa es escasa, por lo que se espera que una restauración con las especies adecuadas contribuya a potencializar este servicio.
Malecón aéreo	Contactar a los habitantes con la barranca y el río. Permitir el contacto visual con el área verde de la barranca. Generar un recorrido paralelo al desarrollo de la barranca. Facilitar un sistema de recolección y traslado de la basura generada en las colonias que convergen en estas zonas.	Esparcimiento y recreación. Mejorar la accesibilidad y la visibilidad del área natural permitirá que la población pueda realizar actividades lúdicas en la zona. Belleza escénica. La contención de la urbanización mediante la construcción del malecón, permitirá que se mantenga el área natural y que sea visible para los pobladores, de manera que puedan apreciar la belleza de un área conservada.

Fuente: modificado de Facultad de Ciencias-UNAM 2010.

Agradecimientos

La información y las fotografías sobre la propuesta del rescate de la barranca del río San Borja, proviene del informe del convenio de colaboración entre la Facultad de Ciencias-UNAM y la Dirección de Ecología de la delegación Álvaro Obregón. El equipo técnico multidisciplinario fue dirigido por Lucía Almeida-Leñero Alya Ramos, Izcuautli Zamora y Carlos Dobler, con el apoyo técnico de Verónica Aguilar. Participaron Beatriz González-Hidalgo y Juan Briones de la Facultad de Ciencias (vegetación); Marisa Mazari y Jazmín Aguilar (calidad del agua); Michelle Meza (componente paisajístico), Sergio Flores y Jorge Cuevas (componente urbanístico), de la Facultad de Arquitectura y Juan Ansberto Cruz (componente hidrológico e hidráulico) del Instituto de Ingeniería.

Referencias

CONAFOR. Comisión Nacional Forestal. 2009. *Restauración de ecosistemas forestales. Guía básica para comunicadores*. México.

Facultad de Ciencias-UNAM. 2010. Barranca del río San Borja, *Propuesta de rescate ambiental*. Informe final. México.

GDF. Gobierno del Distrito Federal. 2000. Ley Ambiental del Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal. En <*http://www.paot.org.mx/centro/leyes/df/pdf/LEYES_AMBIENTALES_DF_PDF/LEY_AMBIENTAL_24_11_2011.pdf*>, última consulta: enero de 2013.

INE. Instituto Nacional de Ecología. 2007*a*. Memoria del Taller "*Barrancas urbanas: Soluciones a la problemática ambiental y opciones de financiamiento*". México.

——. 2007*b*. Diagnóstico socio-ambiental de la Barranca de Guadalupe en Álvaro Obregón, Distrito Federal. En <*http://www.ine.gob.mx/descargas/dgipea/diag_barranca_gpe.pdf*>, última consulta: enero de 2013.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2010. *Censo de Población y Vivienda* 2010. México.

MA. Millennium Ecosystem Assessment. 2005. E*cosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press, Washington DC.

SMA. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2012. Sistema de información de barrancas. En: <*http://www.sma.df.gob.mx/barrancas/index.php?op=06_definiciones*>, última consulta: enero de 2013.

Servicios culturales

Esmeralda Gabriela Urquiza Haas
Irene Pisanty Baruch
Lucía Oralia Almeida Leñero

Los servicios culturales se refieren a los beneficios espirituales, estéticos, psicológicos y otros de índole no material que obtienen las personas del contacto con los ecosistemas (Butler y Oluoch-Kosura 2006). Algunos de estos servicios son fácilmente cuantificables, como los efectos positivos de los ecosistemas en la salud humana, pero otros son sumamente difíciles de reconocer y medir, como la influencia de los ecosistemas en la generación y mantenimiento de la diversidad cultural y espiritual.

Es común pensar que los efectos benéficos de los ecosistemas tienen una influencia mínima entre las poblaciones urbanas que están poco expuestas a entornos naturales, sin embargo, aunque la exposición sea menor, es aquí donde su influencia es aún más marcada y, en donde adquiere relevancia. En las grandes ciudades, los habitantes están expuestos a una diversidad de factores de estrés que afectan su bienestar físico y emocional. Las áreas verdes y arboladas, y en general los ambientes naturales, tienen el potencial de disminuir los factores de estrés en los polos urbanos pues reducen la radiación solar y el estrés térmico, mejoran la calidad del aire y también su olor, reducen el ruido indeseable y favorecen los sonidos placenteros; además de contribuir a incrementar la salud física y mental ya que los espacios arbolados fomentan la actividad física y el movimiento, promueven la tranquilidad y mejoran el estado de ánimo, lo que contribuye a mejorar la salud en general (Nowak *et al.* 1997). Asociado a estos servicios con incidencia directa y tangible en el bienestar de los habitantes de la ciudad, se obtienen servicios más sutiles con implicaciones a largo plazo, como la generación y mantenimiento de la identidad y diversidad cultural.

En esta sección se incluye información sobre cómo algunos de los componentes de los ecosistemas presentes en la Ciudad de México han contribuido a la formación de una identidad cultural entre sus habitantes. La identidad cultural, expresada en diversas manifestaciones sociales tales como la cultura culinaria, los modos de vida y las expresiones religiosas y espirituales, está cercanamente vinculada a la biodiversidad y tiene una función fundamental para su continuidad. Asimismo se discute la importancia de las áreas verdes urbanas y los parques ecoturísticos de la ciudad para la salud y el esparcimiento de los habitantes de la ciudad.

Diversidad cultural

Los grupos sociales tienen una estrecha relación con el entorno natural, que constituye la base de su identidad cultural, valores, así como de su supervivencia y bienestar económico (Balée 1989). La cultura, que incluye al conjunto de signos, símbolos, representaciones, modelos, actitudes, valores, sistemas de conocimiento y otras formas de interacción social, está fuertemente influenciada por el paisaje y los ecosistemas que lo componen (Giménez 2001).

Urquiza-Haas, E.G., I. Pisanty y L. Almeida-Leñero. 2016. Servicios culturales. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.215-229.

Para abordar el papel de los ecosistemas en la provisión de servicios culturales, este trabajo se enfocó en tres aspectos tangibles de la identidad cultural: el modo de vida, expresado en las actividades económicas que modifican y se ven modificadas por el paisaje; a la alimentación; y las creencias y festividades religiosas asociadas al entorno natural.

Por modo de vida se entiende la forma personal en la que el ser humano organiza su vida cotidiana y el modo en que los miembros de la sociedad utilizan y desarrollan las condiciones de vida (García-Viniegras y González-Benítez 2000). El concepto de modo de vida es sociológico y se define como la expresión integrada de la influencia socioeconómica en el conjunto de formas de la actividad vital, en la vida cotidiana de los individuos, grupos y clases sociales (García-Viniegras y González-Benítez 2000). Los modos de vida están relacionados con las diferencias culturales (Aierdi-Extebarria 1994). Aunque este concepto incluye múltiples aspectos de la vida cotidiana, en el presente trabajo se refiere especialmente a las actividades productivas.

Como antecedente, los primeros pobladores de la cuenca de México fueron nómadas y sobrevivían de la caza, la pesca y la recolección desde el año 22 000 a.C. hasta aproximadamente el 8 000 a.C., momento en el que surge de la actividad agrícola (Clavijero 1979). Alrededor del 1 200 y 1 500 d.C. los principales sistemas de producción que mantenían a la gran población de la cuenca de México, estaban íntimamente ligados a las características ambientales dominantes. Un ejemplo de esto son las chinampas, que es un sistema agrícola de alta eficiencia que no depende de las precipitaciones y que fue la base de la subsistencia y de la economía azteca (Coe 1964, Armillas 1971, Parsons 1976, Sanders *et al.* 1979). En las zonas más altas, se practicaba la agricultura de roza-tumba-quema y las terrazas, además del uso generalizado de huertos caseros y los jardines de traspatio que incluían zonas de cultivo de maíz, vegetales, flores y la presencia de animales de traspatio como los guajolotes, los patos y los perros (Rojas-Rabiela 1990).

Estas prácticas agrícolas, en particular la chinampería, se mantuvieron durante muchos años después de la conquista, a pesar de que el estilo urbano de los españoles no era compatible con el de los aztecas. Hoy día, las chinampas siguen siendo parte del modo de vida de la población que vive en la zona donde se ubican, de la cultura de la ciudad y del país. Sin embargo, su relevancia económica se transformó profundamente por los cambios en el sistema lacustre, que a su vez derivaron de los sistemas económicos prevalecientes a lo largo de los diferentes periodos históricos de la zona.

La zona chinampera de la capital, se encuentra bajo el asedio del crecimiento urbano desde hace muchos años, y la calidad del agua de sus canales se perdió debido a que el agua que se extrae de los pozos es para surtir a la gran ciudad, mientras que los canales son alimentados con aguas residuales parcialmente tratadas (Perló 1989, Ángeles-Serrano *et al.* 2008).

La importancia cultural de esta zona chinampera es tal que la UNESCO la reconoció como Patrimonio de la Humanidad en 1987, y hoy en día todavía es posible encontrar productos cultivados de manera tradicional en ellas o en invernaderos que aprovechan el agua de los canales. Algunos productores se encargan de su comercialización, aunque no existe un mercado diferenciado para este tipo de productos a pesar de su valor cultural (ver apartado de Servicios de provisión en este mismo volumen).

Los servicios culturales que proveen las chinampas, como un relicto más de las culturas que antecedieron al México moderno, siguen presentes en muchas prácticas cotidianas, sobre todo al sur de la Ciudad de México, como lo representan los casos documentados de los productores de San Gregorio Atlapulco y de Milpa Alta cuya identidad aún se encuentra fuertemente ligada a la actividad chinampera y a la agrícola (Bonilla 2009), res-

pectivamente. Actualmente, existen chinampas en Xochimilco, San Gregorio Atlapulco, San Luis Tlaxialtemalco, San Pedro Tláhuac y San Antonio Mixquic, y las de Santa María Nativitas y Santa Cruz Acalpixca están próximas a desaparecer, mientras que las de Santiago Tulyehualco y San Nicolás Tetelco se han perdido ya completamente (Pérez 2007). Así, conforme la masa urbana ha ido devorando las zonas periurbanas, este estilo de vida ha sido gravemente mermado con la consecuente pérdida de los servicios culturales.

La producción agropecuaria representa otro tipo de actividad económica íntimamente ligada a los ecosistemas, y constituye un estilo de vida distintivo dentro de la gran urbe de la Ciudad de México. Las actividades agropecuarias se han ido reduciendo, perdiendo o modificando debido a la creciente urbanización. La merma de terrenos agrícolas, por su venta o por expropiación o por la invasión de asentamientos irregulares (Vega y Corona 2007), así como por el cambio de actividades económicas asociado al proceso de urbanización y al relevo generacional, son algunos de los motivos que promueven la disminución de la población dedicada a las actividades primarias en la ciudad, y con ello la diversidad e identidad cultural asociada a este modo de vida (Bonilla 2009). Los pueblos ubicados en las zonas rurales al sur y al poniente de la ciudad representan los actuales refugios agrícolas de la entidad. En la delegación Tláhuac, 65.7% del territorio se dedica aún a la actividad agrícola, y en Xochimilco 65.7%, en Milpa Alta 65.4%, en Tlalpan 41.1%, en Cuajimalpa 28.9%, en La Magdalena Contreras 19% y en Álvaro Obregón 8.6% (INEGI 2011) (figura 2).

En lo que respecta las actividades productivas, la continuidad en los modos de vida ha permitido la prevalencia también de una cosmovisión y de creencias religiosas. La influencia del entorno sobre los elementos culturales mencionados es necesariamente parcial, por lo que no es posible identificar un modo de vida unificado en la ciudad. Contrario a esto, se observan diversos modos asociados a tradiciones culturales y al mismo tiempo a la vida urbana que domina en esta entidad, en la que coexisten desde tradiciones prehispánicas indígenas hasta prácticas características de este siglo y del pasado.

Otro aspecto de los servicios culturales que brindan los ecosistemas se expresa a través de la cultura culinaria o alimenticia de los pueblos. Durante gran parte de la historia de la ocupación de la cuenca, la base de la alimentación consistió en especies silvestres de la región y cultivos afines a las condiciones geo-climáticas de esta zona. En el registro paleontológico hay evidencia de presencia y aprovechamiento de grandes ungulados como el berrendo (*Antilocapra americana*) y los venados cola blanca (*Odocoileus virginianus*) y bura *O. hemionus*, (Serra-Puche y Valadez Azùa 1989; Serra-Puche 1988, citados en Ezcurra 1990). Estas poblaciones de grandes vertebrados se vieron mermadas durante el auge poblacional de la cuenca antes de la ocupación española y de la desecación de los lagos. Por ello, las poblaciones locales dependieron mucho más de las especies que se podían encontrar cerca o dentro de los grandes cuerpos de agua como las aves, los reptiles, los anfibios, los peces y los invertebrados acuáticos (Rojas-Rabiela 1985, Ezcurra 1990).

Actualmente, los pobladores de la cuenca siguen dependiendo de una gran diversidad de especies para diversos fines (cuadro 1).

En resumen, aunque los servicios culturales son de los más difíciles de apreciar y cuantificar, sus implicaciones en la identidad cultural son relevantes. Los modos de vida agrícola, y en especial la chinampería, posibilitan y favorecen el mantenimiento de la identidad cultural asociada a estos modos de vida. Sin embargo, los ecosistemas de la ciudad no sólo benefician a los campesinos o pequeños ganaderos cuya existencia depende de ellos de manera inmediata. La identidad de todos los habitantes de la ciudad está inserta en su entorno, por ejemplo está asociada al consumo de maíz, del nopal y la tuna, la flor de calaba-

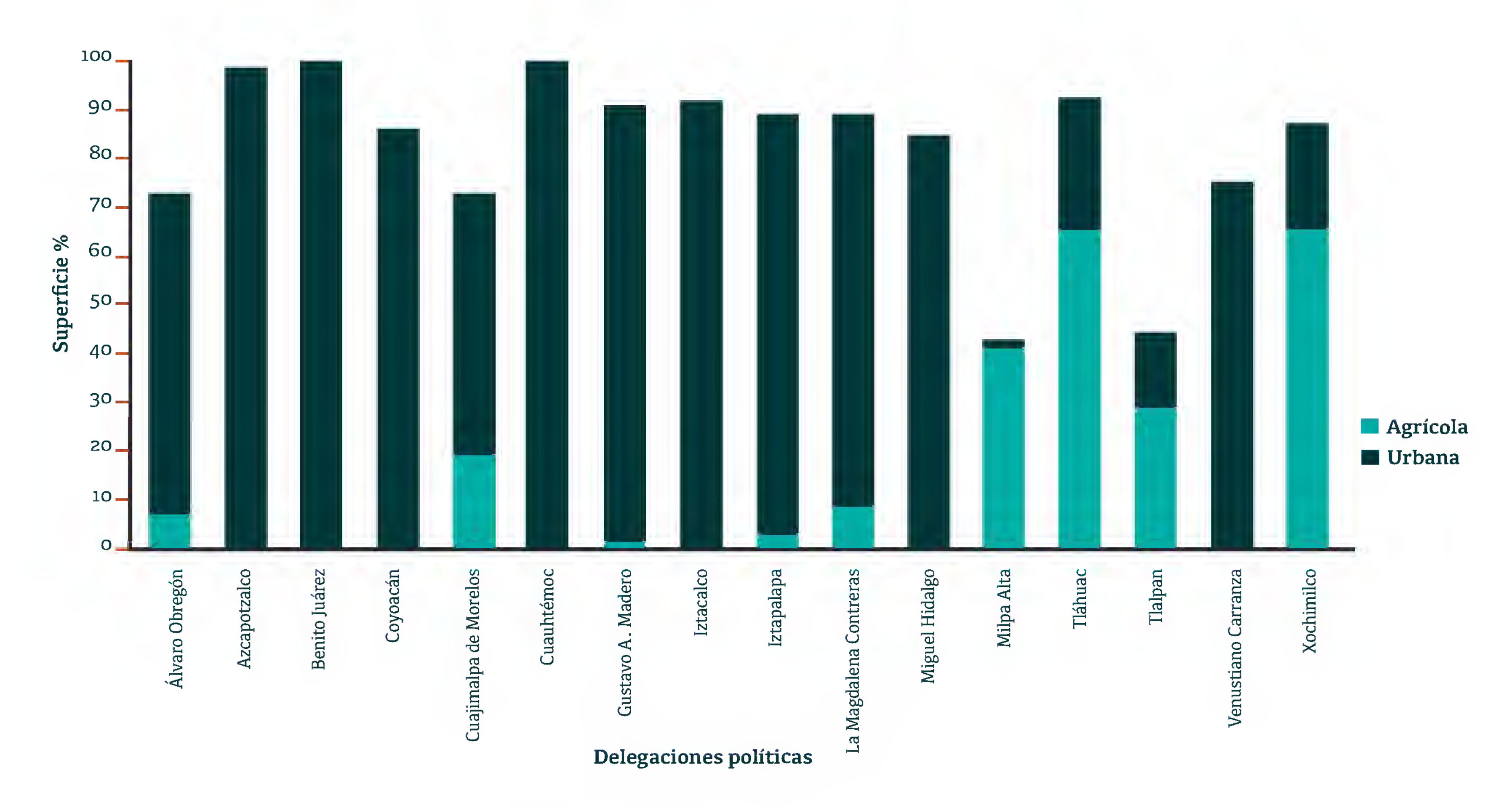


Figura 2. Superficie urbana y agrícola por delegación política. Fuente: elaboración propia con información de INEGI 2011.

za, el huitlacoche y del pulque, a sus suelos basálticos, a las zonas boscosas del Ajusco, los Dinamos y el Desierto de los Leones, entre otros. El paisaje, los olores y sabores de ciudad, asociados al entorno natural, generan a la vez identidades locales y diluyen las barreras de la identidad asociadas al grupo socioeconómico del que se es parte y a la ideología o la historia personal, y se erigen como grandes homogeneizadores de la identidad de los pobladores de la entidad.

Valor espiritual y religioso

A través de la reflexión personal y las experiencias colectivas (religiosas, rituales y tabúes tradicionales) las personas adjudican valores espirituales y religiosos a los ecosistemas o a sus componentes (De Groot y Ramakrishnan 2005). La riqueza y complejidad de la valoración religiosa del entorno natural es evidenciada por la gran cantidad de deidades representantes de las diversas fuerzas de la naturaleza. En todas las zonas de Mesoamérica, por ejemplo, el culto del dios de la lluvia es de los más antiguos y relevantes, como lo fue Tlaloc para los aztecas del valle central (Broda 1971). Antes de la llegada de los españoles prevalecía en la cosmovisión de los antiguos pobladores de la cuenca de México una gran variedad de dioses que velaban por las distintas fuerzas de la naturaleza y se disfrazaban de animales (Florescano 1987). Estos hacían ritos y utilizaban elementos simbólicos asociados a los diferentes elementos de la naturaleza, los cuales se pensaba que afectaban de manera profunda su existencia. Aunque muchas de estas deidades prehispánicas fueron reemplazadas por los santos de la religión católica, que impusieron los conquistadores, se sigue percibiendo su presencia en una diversidad de festividades de este tipo realizadas por los pobladores actuales (Broda 2003).

En la cuenca de México hay una estrecha relación entre el paisaje y la cosmovisión (Medina 1995). Las evidencias históricas señalan que fueron los agricultores quienes mantuvieron las formas ancestrales de culto a los cerros, el agua, la tierra, el bosque o los animales, tanto en los espacios domésticos como en los comunitarios (Castro 2006). De acuerdo con López-Austin (1998) y Broda (2001), la continuidad de esta cosmovisión ancestral se debe a la permanencia de los antiguos modos de vida en las comunidades indígenas campesinas actuales.

Se ha propuesto que el paisaje de la cuenca de México se convirtió en un paisaje ritual que abarcaba numerosos lugares sagrados distribuidos en montañas y lagos (Broda 2001). Algunos de los referentes fundamentales del culto a los cerros en la cuenca son los grandes volcanes (el Popocatépetl y el Iztlacíhuatl) y otras elevaciones como el Ajusco, la Sierra de Tláloc, el Teutli, el cerro de la Estrella, el Tepetzintli (o Peñón de los Baños), el Zacatépetl o el Cocotl (Castro 2006). Los cerros eran concebidos como réplicas del Tlalocan (paraíso y casa de Tlaloc), casa de los Tlaloques, y como ollas o cajas llenas de agua (Castro 2006).

En los cerros sagrados de la cuenca de México se hacían dos grandes rituales en momentos clave para la agricultura. El primero marcaba el cambio entre la estación seca y la lluviosa, y con ello el inicio de la siembra, mientras que el segundo representaba el fin de la época lluviosa, la cosecha y el cierre del ciclo agrícola. Actualmente, los pobladores de las zonas cercanas a el cerro de Tláloc, el Ajusco y el Popocatépetl, los frecuentan para solicitar las lluvias y para dar gracias por las abundantes precipitaciones y buenas cosechas (Broda 2001, Losada 2005).

Las celebraciones católicas actuales como la fiesta de la Candelaria, la Santa Cruz y el día de Todos los Santos (celebraciones no privativas de la Ciudad de México, pero muy relevantes), se propone que son un reflejo o continuación de los antiguos cultos a los dioses que controlaban aspectos de la naturaleza que incidían en la actividad agrícola (Broda 2003).

La íntima relación entre los espacios naturales a los que tiene acceso la población urbana también pone en evidencia su connotación espiritual y religiosa, como se observa en los nichos dedicados a la Virgen y a Cristo (figura 3), ubicados en el parque urbano del Bosque de Tlalpan y la Reserva Ecológica Comunitaria de San Nicolás Totolapan.

Recreación y ecoturismo

La mayor parte de los sistemas naturales presentan un valor de relajación y recreación. Las áreas verdes, además de representar reservorios potenciales de especies en entornos urbanos, juegan un papel importante en el bienestar psicológico y físico de las personas. De acuerdo con los hallazgos de Van den Berg *et al.* (2007) y Groenewegen *et al.* (2012), estar expuesto a áreas verdes reduce la presión arterial y los niveles de estrés; Ulrich (1984) indica que se disminuyen los tiempos de recuperación tras una intervención quirúrgica, y Humpel *et al.* (2002) asegura que se fomenta la actividad física, entre otros beneficios. Por lo anterior, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció que los espacios urbanos deben contar con una super-

Cuadro 1. Grupos de organismos usados tradicionalmente en el sur de la cuenca de México.

	Alimenticio	Medicinal	Comercial	Cinegético	Ornato	Otros usos
Mamíferos	15	10	12	23	0	0
Peces	2	0	1	0	0	0
Reptiles	7	5	2	0	0	0
Anfibios	3	1	1	0	0	0
Aves	5	0	11	3	0	0
Hongos	63	1	0	0	0	0
Plantas	61	136	0	0	54	70

Fuente: elaboración propia con información de Aranda *et al.* 1999 y García 2007.

ficie de áreas verdes no menor a 9 m^2 por habitante (López-Moreno, 1991).

La elección de lugares dónde pasar tiempo libre está generalmente basada en las características paisajísticas, la distancia a la cual se encuentra el sitio, así como los costos y los riesgos implicados. Muchos espacios de uso público (cuadro 2), permiten el esparcimiento, la recreación, el deporte y la convivencia comunitaria dentro de una ciudad (Miranda 1997). Además, proporcionan oportunidades para actividades como la pesca y el estudio de la naturaleza (De Groot y Ramakrishnan 2005).

Recientemente, el ecoturismo se considera como un instrumento para la conservación y el manejo sustentable de los ecosistemas naturales, enfatizando los beneficios económicos derivados de esta práctica hacia la comunidad que brinda el servicio (Sandoval 2001).

Existen varios proyectos ecoturísticos en la entidad, que son impulsados por los propios ejidatarios y comuneros que conservan la propiedad de la tierra en la que se desarrollan. Estos casos de organización alrededor de bienes comunes son relevantes porque representan ejercicios horizontales de toma de decisiones, con lo cual se reducen de una manera importante los conflictos que pueden llevar a los proyectos al fracaso. Un ejemplo de este tipo de iniciativa es la de San Nicolás Totolapan (delegación La Magdalena Contreras), en donde se inició un proyecto ecoturístico en 1996, financiado por instituciones gubernamentales y privadas. En 1998 se inauguró el parque ejidal, y en 2006 se constituyó en una reserva ecológica comunitaria con una superficie de 2 303 ha de terrenos ejidales, en manos de 336 ejidatarios (García 2007). Cuenta con senderos para caminatas y ciclismo de montaña, áreas de campismo y cabañas, granja de truchas y viveros donde se siembran hortalizas, plantas medicinales nativas y árboles de navidad en maceta que se alquilan durante la temporada navideña. Además poseen una unidad de manejo para la conservación de vida silvestre (UMA) de venados y planean



Figura 3. Algunos nichos dedicados a la Virgen y a Cristo montados en un árbol del Bosque del Tlalpan al sur de la ciudad. Foto: Esmeralda Urquiza-Haas 2011.

iniciar la reproducción del pájaro carpintero para combatir al gusano barrenador (García 2007). Estas alternativas han permitido a los ejidatarios mantener sus tierras y recursos forestales, lo cual sin duda conserva también su identidad cultural.

Otro ejemplo exitoso es San Mateo Tlaltenango, en la delegación Cuajimalpa, donde coinciden comuneros y ejidatarios, que han tomado decisiones contrastantes. Los primeros se propusieron conservar sus recursos naturales para mantener el control de sus terrenos, mientras que los ejidatarios han vendido a desarrolladores gran parte de sus tierras para la construcción de centros comerciales y viviendas, quedando 5% de los terrenos ejidales sin urbanizar (García 2007). Del total de la superficie comunal 16.4% presenta alteración a la vegetación natural mientras que 83.5% conserva su vocación forestal (García 2007).

Con el objetivo de mantener sus recursos naturales, los comuneros desarrollaron el parque ecoturístico y de educación ambiental “Rancho los Laureles” en donde se llevan a cabo diversos talleres de educación ambiental para niños y jóvenes, la reforestación con especies nativas (alrededor de 65 mil árboles de oyamel (*Abies religiosa*), pino (*Pinus* spp.) y encino (*Quercus* spp.) al año), limpieza del bosque, incremento de la filtración de agua de lluvia al subsuelo a través del establecimiento de tinas ciegas; también cuentan con un área para acampar, senderos para caminantes y ciclistas, un venadario, un criadero de truchas, un temazcal y otras instalaciones recreativas (SECTUR 2015).

Además de estos espacios de esparcimiento promovidos por la sociedad civil también se cuenta con áreas protegidas decretadas por instancias gubernamentales (cuadro 3, figura 4).

Pese a su importancia, el futuro de estas reservas no está asegurado, debido a que existe una fuerte presión de la población sobre estas zonas, así como intereses económicos y políticos que podrían en algún momento permitir su ocupación irregular. Muchas de las reservas de la cuenca ya no representan zonas naturales ni protegidas. Algunas de ellas han perdido su vegetación por completo y han sido incorporadas a la zona urbana (Ezcurra *et al.* 2006).

La mayoría de las áreas verdes de la entidad, son utilizadas generalmente como zonas recreativas (figura 5). Los parques eran frecuentes en todos los barrios de la ciudad, pero la demanda de espacio de los proyectos urbanos los han disminuido.

Aunque las áreas verdes no son conceptualizadas como espacios para la conservación de la biodiversidad (Ezcurra *et al.* 2006), éstas albergan una valiosa diversidad biológica, que no ha sido adecuadamente conservada. En el bosque de Chapultepec, por ejemplo, la gran cantidad de visitantes anuales y el desorden generado por las vialidades, los vendedores ambulantes y la concentración de visitantes en ciertas partes, han ocasionado el deterioro del sitio (SEDEMA 2015). Esto incluye la compactación del suelo del bosque y la disminución de los niveles freáticos, mientras que las plagas y la contaminación atmosférica han debilitado y enfermado a las especies nativas de árboles como el ahuehuete (*Taxodium mucronatum*). Además, la introducción de especies exóticas como el eucalipto, que es una especie invasora, ha mermado las poblaciones de especies nativas del lugar.

Las áreas abiertas, que son una mezcla heterogénea de terrenos baldíos, cementerios y campos abandonados, no representan una alternativa eficiente para la protección de especies vegetales y no son fuente de beneficios ambientales que normalmente proporcionan los bosques y los parques, pero pueden desempeñar un papel importante en las actividades recreativas de la población.

La Ciudad de México cuenta en promedio con 8.4 m^2 de áreas verdes por habitante en suelo urbano (Pisanty 2000), lo cual está por debajo del límite inferior de la recomendación de la OMS. Esta situación se agrava mucho si se considera que la distribución de las

Cuadro 2. Algunos espacios públicos que brindan servicios recreativos.

Espacios públicos con mayor popularidad que brindan algunos servicios recreativos
Bosque de Chapultepec
Alameda Central
Parque de los Venados
Parque Xicoténcatl
Bosque de Tlalpan
Parque Lira
Parque Hundido
Cerro de la Estrella, entre otros.
Espacios abiertos con funciones ecoturísticas
Ejido de San Nicolás Totolapan
Los Dinamos, en la comunidad de Magdalena Atlitic
Parque de la Comunidad San Bernabé Ocotepec en La Magdalena Contreras
Ejido de San Nicolás Tetelco, en Tláhuac
Parque Ecológico Xochimilco en Xochimilco
Parque Nacional Desierto de los Leones, en Cuajimalpa
Parques Cumbres del Ajusco y Ecológico de la ciudad de México en Tlalpan
Cerro de la Estrella, entre otros.

Fuente: SEDEMA 2015, SECTUR 2015.

Cuadro 3. Tipos de áreas verdes.

Tipos de áreas verdes	Número	Área (ha)
Parques Nacionales	8	6 184
Zonas Sujetas a Conservación Ecológica	5	4 438.12
Zonas de Conservación Ecológica	3	545.56
Parque Urbano	1	252.86
Zona Ecológica y Cultural	1	121.77
Reservas Ecológicas Comunitarias	4	8 371.57
Áreas Comunitarias de Conservación Ecológica	2	5 150.84
Total igual al 16-8% de la superficie	24	25 064.72

Fuente: PAOT 2010.

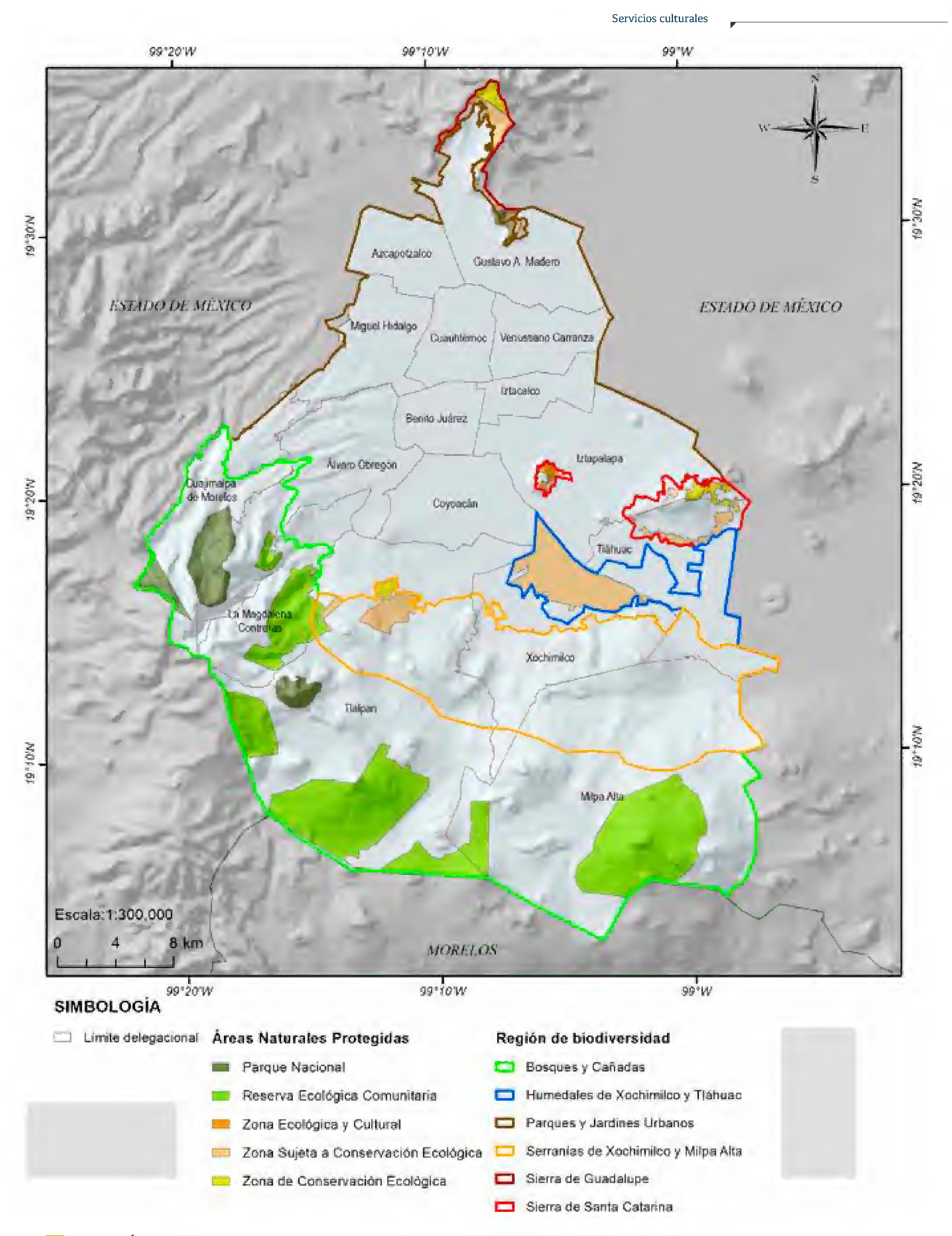


Figura 4. Áreas naturales protegidas. Fuente: elaboración propia con información del GDF 2012.

áreas verdes es sumamente heterogénea en las diferentes regiones de la ciudad (CentroGEO 2003). Las delegaciones que incluyen suelo de conservación tienen mucha más superficie de áreas verdes que las que están densamente pobladas y no cuentan con superficies destinadas a la conservación (Pisanty 2000), como se puede ver en el cuadro 4 y en las figuras 6 y 7.

Cabe resaltar que no todas las áreas son utilizadas por la población como sitios de esparcimiento, debido al limitado acceso que se tiene a algunas de ellas por tratarse de zonas de barrancas, predios y jardines privados (SMA 2003).

Los efectos benéficos de las áreas verdes en la salud física y mental de los habitantes de la ciudad justifican que se destinen mayores recursos a la recuperación, mantenimiento y vigilancia de estas áreas, sobre todo en aquellas delegaciones que carecen de esos espacios esenciales para incrementar la calidad de vida de sus habitantes. Estas áreas tienen también el potencial de fungir como áreas de conservación de la flora y fauna nativa, así como espacios de educación ambiental y fomento de la ciencia ciudadana.

Los servicios culturales se expresan en muchos elementos cotidianos para los habitantes de la Ciudad de México, desde los clásicos calendarios ilustrados con alegorías referentes al Iztaccíhuatl y al Popocatépetl hasta los múltiples rituales alimenticios, tradicionales y religiosos que caracterizan a ciertas épocas del año. Este tipo de servicios ambientales se distribuye en zonas en las que aún se encuentran ecosistemas naturales, como es el caso de las regiones de Bosques y Cañadas al poniente y al sur de la ciudad, y aquellas en las que aún se practica la agricultura (de temporal o de chinampería) y se crían animales de algún tipo, como los Humedales de Xochimilco y Tláhuac (figura 8).

Consideraciones finales

Los servicios culturales son servicios ambientales difíciles de medir cuantitativamente, pero son sencillos de comprender cualitativa e intuitivamente, debido a que se perciben al observar el Pico del Águila o los colores vibrantes de un mercado y las flores pasada la temporada de lluvia, en los rituales sincrético, parcialmente prehispánicos-parcialmente católicos, asociados a los ciclos agrícolas, en los sabores de la comida y el olor fresco de los bosques en donde los capitalinos se refugian para caminar y comer quesadillas los fines de semana.

Los servicios ecosistémicos (SE) culturales enfrentan retos adicionales a los otros servicios ya mencionados, pero perduran a pesar de todas las presiones que derivan del crecimiento urbano desordenado y desmedido, del cambio de uso de suelo y de la sobreexplotación de ecosistemas, especies y recursos; aun cuando la pérdida de los servicios de provisión, de regulación y de soporte pone en entredicho la permanencia de los servicios culturales. Adicionalmente, los servicios ambientales se enfrentan a la globalización cultural implícita en el impacto de los medios de comunicación masiva, la presión que ejerce el desarrollo inmobiliario y la pérdida de incentivos sociales y económicos que mantienen los vínculos del campesino de la ciudad con su entorno.

Los servicios culturales son un reflejo de las diferentes etapas que ha tenido la relación sociedad-naturaleza en la entidad, y también de las variadas raíces históricas y de la complejidad cultural que caracteriza a todo el país. Así, en los servicios culturales se encuentran muchas de las razones que permitieron la conservación de la biodiversidad genética, específica y ecosistémica de esta región. Su pérdida implica la desaparición de un vínculo estrecho con el ambiente del cual, independientemente de los alcances de la tecnología moderna, las sociedades humanas aún dependen. Por ello, los proyectos de conservación y manejo sustentable de la biodiversidad deben considerar a estos servicios como parte de su estrategia.

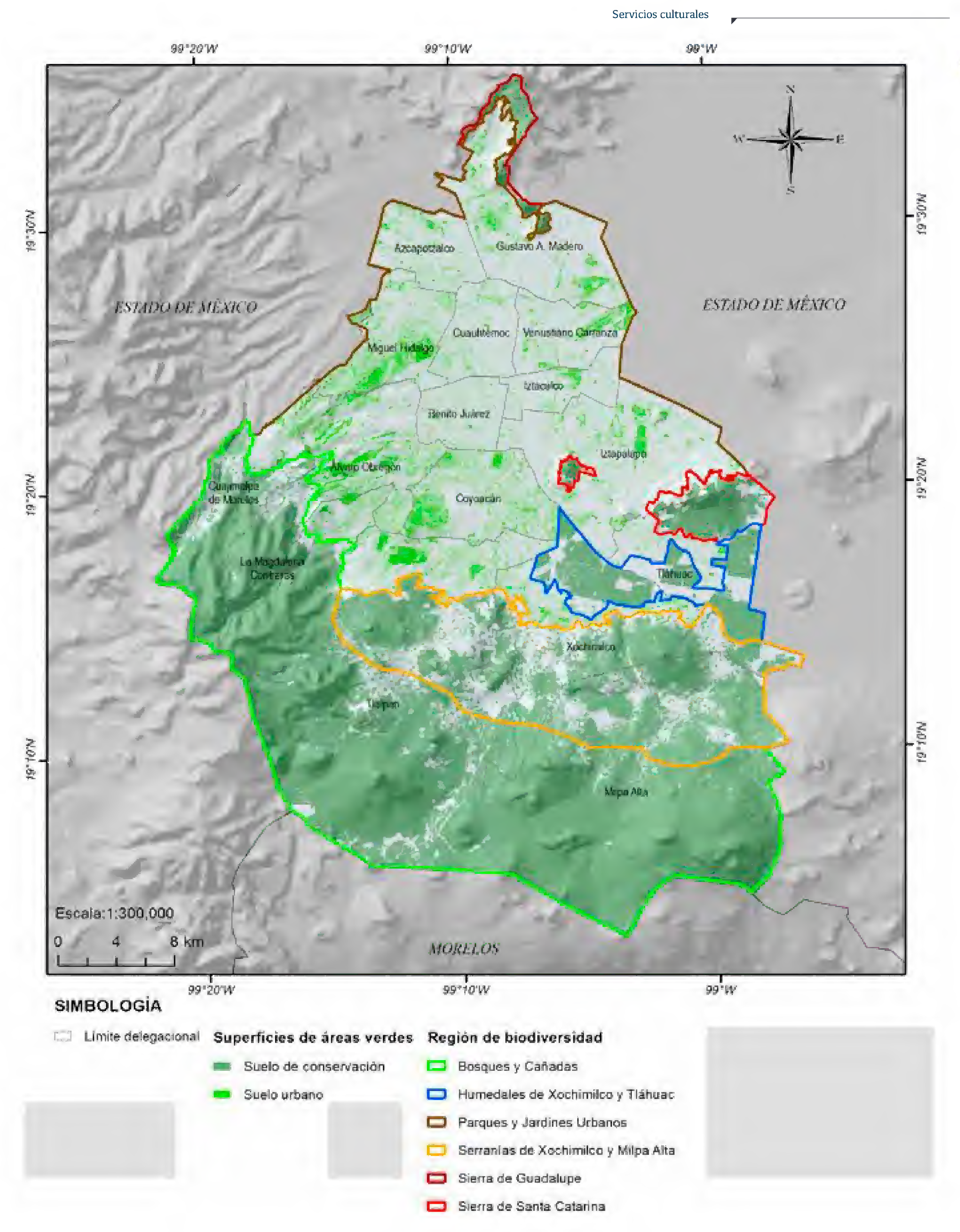


Figura 5. Superficie de áreas verdes (zonas de pastos y arbustos y zonas arbolada) por delegación política. Fuente: elaboración propia con información de la PAOT 2010.

Cuadro 4. Delegaciones con mayor y menor superficie de áreas verdes.

Delegación política	Superficie de áreas verdes por persona (m^2/pers)	Cumplen con la recomendación mínima de $9m^2$ de la OMS
Álvaro Obregón	35.8	Si
Coyoacán	31.4	Si
Cuajimalpa	36.7	Si
Tlalpan	20.3	Si
Xochimilco	20.3	Si
Benito Juárez	3.3	No
Cuauhtémoc	3.5	No
Iztacalco	5.5	No
Tlahuac	7.5	No

Fuente: SMA 2003.

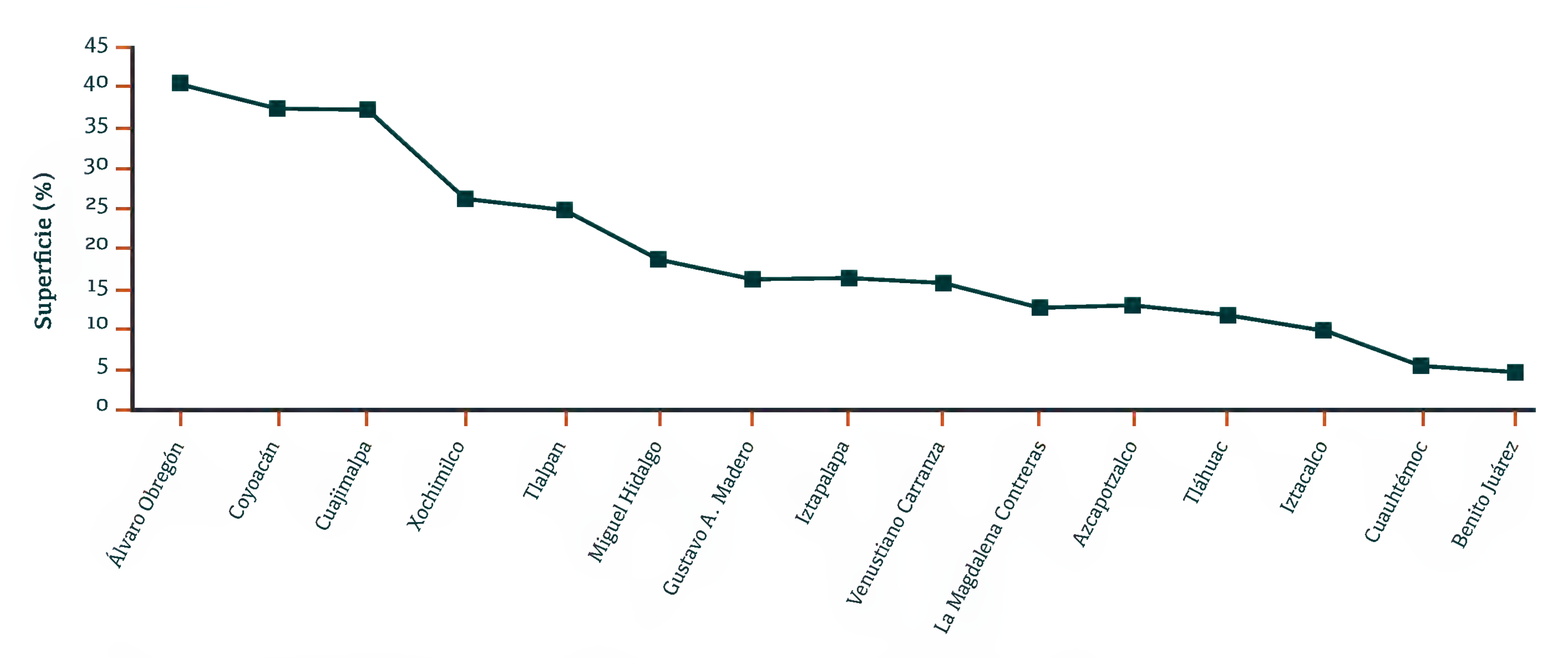


Figura 6. Porcentaje de áreas verdes por delegación política. Fuente: elaboración propia con información de la SMA 2003. No se incluye la delegación Milpa Alta por encontrarse totalmente dentro del suelo de conservación.

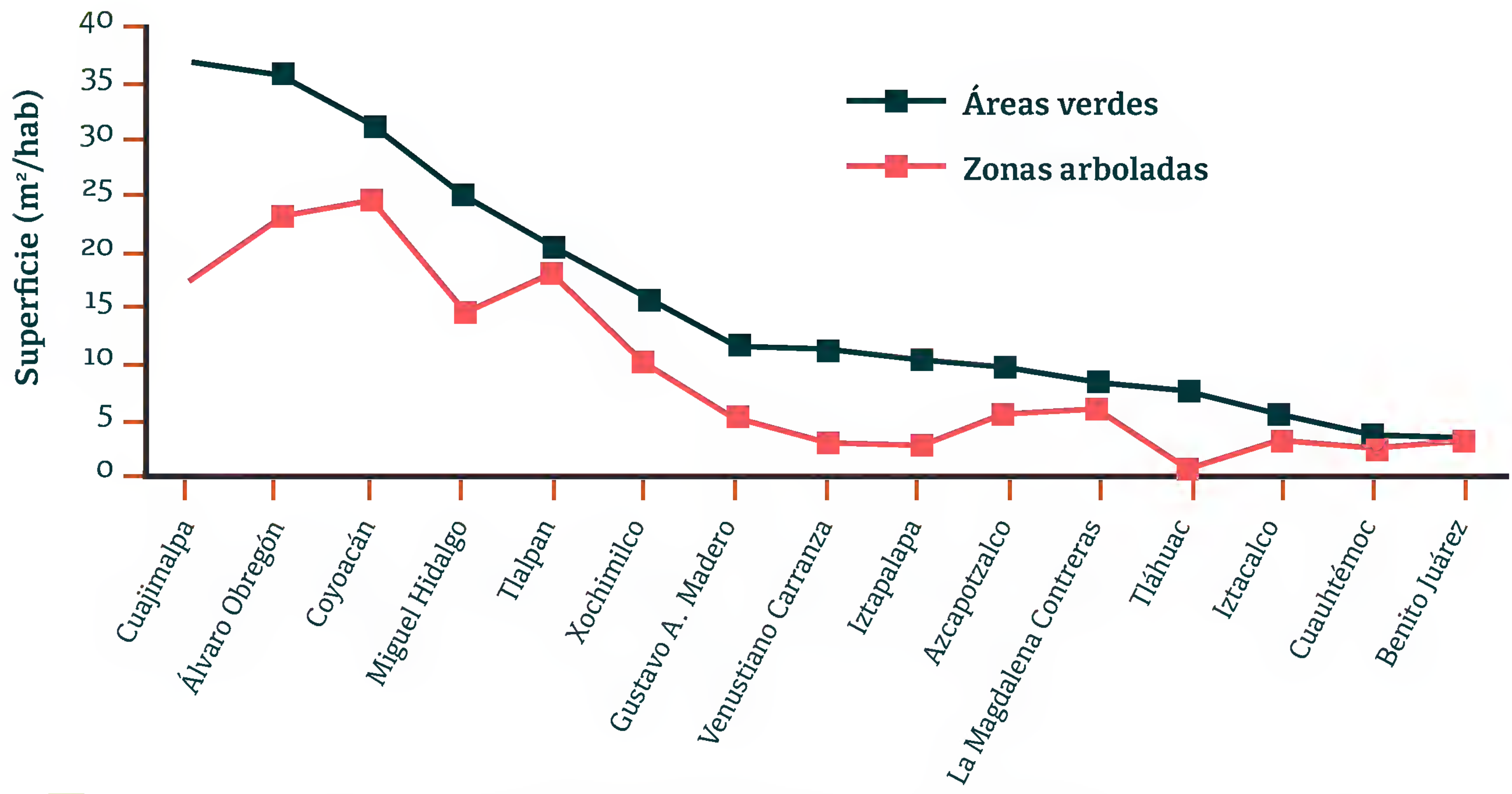


Figura 7. Superficie de áreas verdes (pastos y arbustos) y zonas arboladas por habitante en las delegaciones políticas. Fuente: elaboración propia con información de SMA (2003). No se incluye la delegación Milpa Alta por encontrarse totalmente dentro del suelo de conservación.



Las chinampas son un relicto de las culturas que antecedieron al México moderno, que siguen presente en muchas prácticas cotidianas, sobre todo al sur del de la ciudad.

Hay una estrecha relación entre el paisaje y la cosmovisión. Las evidencias históricas señalan que los agricultores mantuvieron las formas ancestrales de culto, tanto en los espacios domésticos como en los comunitarios.

Existen varios proyectos ecoturísticos comunitarios en el sur y surponiente de la ciudad.
La mayoría de las áreas verdes de la ciudad, son utilizadas generalmente como zonas recreativas.

Figura 8. Servicios culturales dentro la Ciudad de México. Fuente: elaboración propia con ilustraciones de Miguel Posadas.

Referencias

Aierdi-Etxebarria, P. 1994. Estratificación social y estilos de vida. Pp. 235-250. En: *Valores y estilos de vida de nuestras sociedades en transformación*. A. Kaiero Uría (ed). Bilbao: Universidad de Deusto.

Ángeles-Serrano, G., M. Perevochtchikova y J.J. Carillo-Rivera. 2008. Posibles Controles Hidrogeológicos de Impacto Ambiental por la Extracción de Agua Subterránea en Xochimilco, México. *Journal of Latin American Geography* 7:39-56.

Aranda, M., M. Gual-Díaz, O. Monroy-Vilchis, *et al*. 1999. Aspectos etnoecológicos: aprovechamiento de la flora y fauna silvestre en el sur de la cuenca de México. pp 263-275. En: *Biodiversidad de la región de montaña del sur de la Cuenca de México: bases para el ordenamiento ecológico*. A. Velázquez y F.J. Romero (eds.). UAM/SEMARNAP, México.

Armillas, P. 1971. Garden son swamps. *Science* 174:653-661.

Balée, W. 1989. The culture of Amazonian forests. Pp 1-21. En: *Resource Management in Amazonia: Indigenous and Folk Strategies*. D.A. Posey y W. Balée (eds.) Advances in Economic Botany no. 7. Bronx: New York Botanical Garden.

Bonilla, R. 2009. Agricultura y tenencia de la tierra en Milpa Alta. Un lugar de identidad. *Argumentos* 61:249-283.

Butler, C.D. y W. Oluoch-Kosura. 2006. Linking future ecosystem services and future human wellbeing. *Ecology and Society* 11:1-16.

Broda, J. 1971. Las fiestas aztecas de los dioses de la lluvia. *Revista Española de Antropología Americana* 6:245-327.

Broda, J. 2001. La etnografía de la Santa Cruz. Pp. 165-171. En: *Cosmovisión, ritual e identidad de los pueblos indígenas de México.* J. Broda y F. Báez-Jorge(eds.). FCE, México.

Broda, J. 2003. La ritualidad mesoamericana y los procesos de sincretismo y reelaboración simbólica después de la conquista. *Graffylia* 2:14-27.

Castro, F. 2006. *Colapsos ambientales, transiciones culturales.* UNAM/ Instituto de Investigaciones Antropológicas/Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), México.

Clavijero, F. 1979. *Historia antigua de México*. Porrúa, México.

Coe, M. 1964. The chinampas of Mexico. *Scientific American* 211:90-98.

De Groot, R. y P.S. Ramakrishnan. 2005. Cultural and Amenity. Pp. 457-476. En: *Ecosystems and human well-being: Current state and trends, Vol. 1.* R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.) Island Press, Washington, D.C.

Ezcurra, E. 1990. *De las chinampas a las megalópolis. El medio ambiente en la cuenca de México.* FCE, México.

Ezcurra, E., M. Mazari, I. Pisanty y A. Aguilar. 2006. *La Cuenca de México.* FCE, México.

Florescano, E. 1997. Sobre la naturaleza de los dioses de Mesoamérica. *Estudios de Cultura Náhuatl* 17:41-68.

García, P. 2007. Los recursos naturales y los pueblos originarios de la Ciudad de México. Pp. 87-113. En: *Los pueblos originarios de la Ciudad de México. Atlas etnográfico.* T. Mora (ed). GDF/INAH, México.

García-Viniegras, C.R.V. e I. González-Benítez 2000. La categoría bienestar psicológico, su relación con otras categorías sociales. *Revista Cubana de Medicina Integral* 16:586-592.

GDF. Gobierno del Distrito Federal. 2012. *Atlas geográfico del suelo de conservación del Distrito Federal.* SMA/PAOT, México.

Giménez, G. 2001. Cultura, territorio y migraciones. Aproximaciones teóricas. *Alteridades* 11: 5-14.

Groenewegen, P. P., A. E. van den Berg, J. Maas, *et al.* 2012. Is a green residential environment better for health? If so, why? *Annals of the Association of American Geographers* 102:996-1003.

Humpel, N., N. Owen y E. Lesliey. 2002. Environmental Factors Associated with adults participation in physical activity: A review. *American Journal of Preventive Medicine* 22:188-199.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2011. México en cifras. Información nacional, por entidad federativa y municipios. En: <*http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/*>, última consulta: 10 de mayo de 2012.

López-Austin, A. 1998. *Los mitos del tlacuache.* UNAM/ Instituto de Investigaciones Antropológicas, México.

López-Moreno, I. 1991. *El arbolado urbano de la zona metropolitana de la Ciudad de México.* UAM/MAB/UNESCO, México.

Losada, T. 2005. La vigencia de la tradición cultural mesoamericana en Milpa Alta, pueblo antiguo de la Ciudad de México. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales* 195:195-227.

Medina, A. 1995. Los sistemas de cargos en la Cuenca de México: una primera aproximación a su trasfondo histórico. *Alteridades* 5:7-23.

Miranda, V.C. 1997. *Lo ambiental desde la perspectiva filosófica.* Tesis de Maestría. CIIEMAD/IPN.

Nowak, D.J., J.F. Dwyer y H. Childs. 1997. Los beneficios y costos del enverdecimiento urbano. Pp. 17 - 38. En: *Áreas Verdes Urbanas en Latinoamérica y el Caribe.* L. Krishnamurthy y J. Rente Nascimento (eds.) Universidad Autónoma de Chapingo, México.

PAOT. Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal. 2010. *Presente y futuro de las áreas verdes y el arbolado de la Ciudad de México.* GDF/PAOT, México.

Parsons, J.R. 1976. Settlement and population history of the Basin of Mexico. Pp. 69-100 En: *The Valley of Mexico: Studies in Prehispanic Ecology and Society.* E.R. Wolf (ed.) University of New Mexico Press. Albuquerque.

Pérez, J.K. 2007. Chinampas: entre apantles y acalotes. Pp. 97–101. En: *Los pueblos originarios de la Ciudad de México.* Atlas etnográfico. T. (Mora (ed.). GDF/INAH , México.

Perló, M C. 1989. Problemas sociopolíticos para la utilización de las aguas residuales. Pp. 89-102. En: *Aguas residuales de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, impactos y perspectivas.* Quadri de la Torre (comp.), DDF/Fundación Friedrich Ebert.

Pisanty, I. 2000. Ecosistemas y áreas verdes. Pp. 134-139. En: *La Ciudad de México en el fin del segundo milenio.* G. Garza (coord.). GDF/El Colegio de México (COLMEX), México.

Rojas-Rabiela, T. 1990. La agricultura en la época prehispánica. Pp 62-63. En: *La agricultura en tierras mexicanas desde sus orígenes hasta nuestros días.* T. Rojas (ed.). Consejo Nacional para la Cultura y las Artes (CONACULTA), Grijalbo, México.

Rojas-Rabiela, T. 1985. La cosecha del agua. Pesca, caza de aves y recolección de oros productos biológicos acuáticos de la cuenca de México. *Cuadernos de la casa Chata* 116:1-112.

Sanders, W.T., J. R. Parsons y R.S. Santley. 1979. *The Basin of Mexico: Ecological Processes in the evolution of a civilization.* Academic Press. Nueva York, EUA.

Sandoval, J. 2001. Concepción y perspectiva del ecoturismo en México En: <*http://www.juridicas.unam.mx/publica/librev/rev/derhum/cont/52/pr/pr34.pdf*>, última consulta: 14 abril de 2016.

SECTUR. Secretaría de Turismo del Gobierno del Distrito Federal. 2015. En: <*http://www.mexicocity.gob.mx/*>, última consulta: 7 de marzo de 2015.

SEDEMA. Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2015. En: <*http://www.sedema.df.gob.mx*>, última consulta: 7 de marzo de 2015.

Serra-Puche, M.C. 1988. *Los recursos lacustres en la cuenca de México durante el Formativo.* UNAM, Colección Posgrado, México.

Serra-Puche, M.C. y R. Valadez Azùa. 1989. Importancia de los venados en Terremote-Tlaltenco. *Ciencia y Desarrollo* 15(85):63-72.

SMA. Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2003. Inventario de Áreas Verdes en el Distrito Federal. En: <*http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-331/sn-331-56.htm*>, última consulta: 19 de abril 2016.

Ulrich, R.S. 1984. View through a window may influence recovery from surgery. *Science* 224:42-421.

Van den Berg, A.E., T. Hartig, y H. Staats. 2007. Preference for nature in urbanized societies: stress, restoration, and the pursuit of sustainability. *Journal of Social Issues* 63:79—96.

Vega, L. y L.E. Corona. 2007. Los pueblos de la Ciudad de México y la defensa de sus recursos y su territorio. Pp. 115-127. En: *Los pueblos originarios de la Ciudad de México. Atlas etnográfico.* T. Mora (ed.) GDF/INAH, México.

Tendencia histórica en la generación de los servicios ecosistémicos

Teresa Margarita González Martínez
Lucia Oralia Almeida Leñero

La generación de los servicios ecosistémicos (SE) se vincula a las condiciones prevalecientes en los ecosistemas y a la biodiversidad que albergan. Por lo tanto, los cambios que en ellos sucedan tendrán efectos sobre los procesos e interacciones que condicionan la existencia de los servicios.

La historia ambiental de la Ciudad de México, ha sufrido múltiples transformaciones desde la llegada de los primeros pobladores hasta la actualidad. En este apartado se describe, a juicio de expertos, cuál ha sido el efecto de dichos cambios sobre la capacidad de los ecosistemas para la generación de los SE, tomando en cuenta la información contenida en toda la sección.

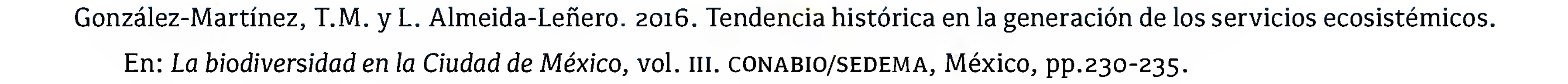
Las condiciones y procesos históricos a lo largo de la historia de la ciudad son un reflejo de las tendencias históricas desde la época prehispánica, la etapa conquista-post revolución y el estado actual (cuadro 1). Estas pueden transformarse en un escenario positivo en caso de realizar una intervención ecológica integral que permita revertir las tendencias de deterioro ambiental actuales.

Antes de la llegada de los españoles, la generación de los SE en el territorio que hoy forma parte de la Ciudad de México se mantenía estable, debido a que los ecosistemas habían sido poco alterados. Un servicio que experimentó deterioro fue el de hábitat, puesto que las actividades productivas, la cacería y el crecimiento de la ciudad azteca afectaron la biodiversidad negativamente. Prueba de ello fue la extinción de los grandes mamíferos como el berrendo, el pecarí y el venado bura (Ezcurra 1990, Rojas 2004).

Otros servicios como la provisión de alimentos, la diversidad cultural y el valor espiritual y religioso aumentaron su potencial de generación al consolidarse las distintas culturas prehispánicas.

En la cuenca de México los ecosistemas lacustres fueron la base de las civilizaciones, las cuales generaron un amplio conocimiento sobre el manejo de los recursos naturales (Espinosa 1996). Uno de los avances tecnológicos que destacó fue la producción agrícola en chinampas, que permitió aumentar la provisión de alimentos (López 1988). La importancia del lago no fue solo material, también influyó en la cosmovisión y el simbolismo (Espinosa 1996), ocupando así un lugar importante en la generación de los SE ligados a la cultura.

Después de la conquista de los españoles y hasta mediados del siglo XX prevaleció una intensa transformación de los ecosistemas, destacando la desecación del sistema lacustre, un cambio radical en las actividades agrícolas y pecuarias, y el crecimiento de la mancha urbana (Garza 2000, Vela 2004, Ezcurra *et al.* 2006, Sheinbaum 2008, Pisanty *et al.* 2009). Asimismo, con la imposición de la cultura eminentemente excluyente de los conquistadores, se trató de desaparecer todo vestigio de la cultura prehispánica, perdiéndose muchos conocimientos y simbolismos ancestrales (Brañes 1993). Esto se tradujo en una reducción



González-Martínez, T.M. y L. Almeida-Leñero. 2016. Tendencia histórica en la generación de los servicios ecosistémicos. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.230-235.

Cuadro 1. Tendencia histórica en la generación de los servicios ecosistémicos.

Tipo de servicio	Servicio	Época Prehispánica	Etapa Conquista-Post revolución	Estado Actual	Con intervención ecológica integral
Soporte	Hábitat	↘	↘	↓	↑
	Ciclo del agua	→	↓	↓	↑
	Producción primaria	→	↘	↘	↑
	Formación y retención de suelo	→	↘	↓	↑
Provisión	Alimentos	↗	↑	→	→
	Agua dulce	→	↘	↓	↗
	Recursos maderables y no maderables	→	↓	↘	↗
	Recursos genéticos	→	↘	↘	↑
Regulación	Regulación del clima (microclima y local)	→	↓	↓	↗
	Regulación del macroclima	→	↘	↓	→
	Regulación de la calidad del aire	→	↘	↓	↗
	Regulación de la calidad del agua	→	↘	↓	↗
	Regulación de flujos de agua (infiltración)	→	↘	↓	↑
	Regulación de flujos de agua (flujo base)	→	↘	↓	↑
	Regulación de flujos de agua (inundaciones)	→	↓	↘	↗
	Regulación de la erosión	→	↓	↘	↑
	Polinización	→	↘	↘	↗
	Control de enfermedades	→	↓	↘	↗
	Control biológico	→	↓	↓	↗
Culturales	Diversidad cultural	↑	↓	↘	→
	Valor espiritual y religioso	↗	↓	↘	→
	Recreación y ecoturismo	→	↗	↗	↑

Simbología: **Disminuye drásticamente o desaparece** (↓) | **Disminuye** (↘) | **Se mantiene** (→) | **Aumenta** (↗) | **Aumenta considerablemente** (↑)

Fuente: elaboración propia.

de la capacidad de generar SE, que en muchos casos fue muy drástica, como es el caso del ciclo del agua, la provisión de recursos maderables y no maderables, la regulación del clima local, la regulación de inundaciones y de erosión, el control de enfermedades, el control biológico de plagas, la diversidad cultural, y el valor espiritual y religioso.

Algunos SE aumentaron su potencial de otorgar beneficios a la población de la capital durante el periodo conquista-post revolución: la implementación de nuevas técnicas de cultivo y de ganado favorecieron el incremento de la superficie con agroecosistemas (Ezcurra 1990), lo que aumentó la generación del servicio de provisión de alimentos; el crecimiento

de la población generó una mayor demanda de los SE de recreación, por ello se construyeron parques urbanos y se abrieron al público espacios como el bosque de Chapultepec (SMA 2010), posteriormente se decretaron parques nacionales como el Desierto de los Leones (Vargas 1997).

En la época actual es evidente una tendencia a la disminución drástica e incluso desaparición de los SE, especialmente los de soporte y los de regulación (principalmente hábitat, ciclo del agua, formación y retención de suelo, regulación del clima, de la calidad del aire y del agua, de los flujos de agua y control biológico de plagas). Esto ocurre porque su generación está muy relacionada con el funcionamiento correcto de los ecosistemas, mismos que continúan siendo gravemente alterados. Esta situación se ha detonado por el crecimiento de la mancha urbana, lo que origina la producción excesiva de contaminantes atmosféricos y aguas residuales, el aumento en la extracción de agua y de otros recursos naturales, y el riesgo de desaparecer al que se enfrentan muchas especies de plantas y animales, factores que están muy lejos de ser controlados y revertidos (Ezcurra *et al*. 2006, Sheinbaum 2008, Pisanty *et al*. 2009).

En el escenario actual, el servicio cultural de recreación y ecoturismo muestra una tendencia a incrementarse, debido a que en años recientes se ha impulsado en los programas gubernamentales la realización de actividades de educación ambiental y lúdicas en parques urbanos y en centros ecoturísticos comunitarios, entre otros (SMA 2013, UGREDF 2013).

En un escenario hipotético a futuro, se espera que exista una intervención ecológica integral mediante la aplicación de lineamientos y acciones que permitan controlar e incluso revertir la situación de deterioro ambiental actual. En el cuadro 2 se describen lineamientos que sería recomendable integrar en dicha intervención, así como los actores sociales que pueden involucrarse. Con el objetivo de mitigar la perdida de los SE en la Ciudad de México se recomienda la intervención concertada de autoridades federales, estatales y delegacionales, así como de todo tipo de actores locales, incluyendo instituciones educativas y de investigación, habitantes e iniciativa privada; esquema en el cual los organsimos transversales pueden coadyuvar en la acción conjunta. Los planteamientos actuales de la Comision Ambiental Metropolitana y la Iniciativa de Bosque del Agua van en ese sentido, por lo que se espera que sea posible tener propuestas y líneas de acción concretas a corto plazo.

La Comisión Ambiental Metropolitana es un órgano de coordinación en la planeación y ejecución de acciones en la Zona Metropolitana del Valle de México, y los estados que la comprenden, con el objetivo de permitir el establecimiento de mecanismos para la coordinación de acciones en materia de protección al ambiente, preservación y restauración del equilibrio ecológico en la zona conurbada; coordinar la operación y seguimiento del Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas; y coordinar y proponer la aplicación y modificación del programa “Hoy No Circula” entre otros (CAM 2014).

La Iniciativa Bosque de Agua tiene como objetivo principal construir un esquema regional de colaboración entre actores sociales del Estado de México, Morelos y la Ciudad de México. Esto con el propósito de discutir, acordar y colaborar en la realización de actividades para conservar la integridad ecológica, así como el bienestar social y económico de las zonas montañosas que tienen un papel importante en la recarga de los acuíferos que surten agua a las principales zonas urbanas de estos estados. Incluye la participación de representantes gubernamentales, dueños de las tierras, productores, grupos ambientalistas y académicos (PRONATURA 2014).

Con la intervención ecológica integral se esperaría que la mayoría de los SE mejoraran, sin embargo existen algunas excepciones. La provisión de alimentos se mantendría en los niveles actuales, debido a que esta actividad puede entrar en conflicto con las estrategias

Cuadro 2. Lineamientos para una intervención ecológica integral en los ecosistemas de la Ciudad de México.

Ecosistemas	Lineamientos	Actores involucrados
Bosques templados, matorrales y pastizales naturales	Control del crecimiento de la mancha urbana y los asentamientos irregulares. Manejo planificado del bosque (eliminar veda forestal, aprovechamiento planificado). Actividades de conservación (reforestación con especies nativas, control de: incendios, plagas y erosión). Organización comunitaria y coordinación con autoridades gubernamentales. Ampliación y mejoramiento de los programas de pago por servicios ambientales. Diversificación de actividades productivas compatibles con la conservación. Capacitación y transferencia de tecnología (ecotecnias).	Sociedad organizada: comuneros, ejidatarios, organizaciones no gubernamentales. Gobiernos delegacionales. Gobierno de la Ciudad de México: SEDEMA, CORENA, PAOT, SEDUVI, SEDEREC, SEDESO, SEDECO, SECITI, SECTUR. Gobierno Federal: SEMARNAT, CONAFOR, INECC, IMTA, PROFEPA, CONABIO, SEDESOL, SEDATU, SECTUR. Instituciones académicas: UNAM, IPN, UAM, UACM, UACH, entre otras.
Ríos y humedales	Restauración de cuerpos de agua. Separación de aguas pluviales y residuales. Tratamiento de aguas residuales. Análisis de problemáticas con visión de cuenca. Determinación y seguimiento del caudal ecológico*. Instrumentos de protección y conservación.	Organismos transversales: Consejo de Cuenca del Valle de México y Órganos auxiliares Sociedad organizada: comuneros, ejidatarios, organizaciones no gubernamentales. Gobiernos delegacionales, comités ciudadanos. Gobierno de la Ciudad de México: SEDEMA, CORENA, PAOT, SACMEX, SOBSE. Gobierno Federal: SEMARNAT, CONAGUA, CONAFOR, INECC, IMTA, PROFEPA, SEDATU. Instituciones académicas: UNAM, IPN, UAM, UACM, UACH, entre otras.
Agroecosistemas	Fomento de agricultura orgánica. Diversificación productiva. Prácticas de conservación de suelo y agua. Manejo integral de plagas. Protección de recursos genéticos. Capacitación y recuperación de conocimientos tradicionales. Análisis de costo beneficio de productos agrícolas (en términos de productividad, impacto ambiental, beneficio económico y social).	Sociedad organizada: comuneros, ejidatarios, organizaciones no gubernamentales. Gobiernos delegacionales. Gobierno de la Ciudad de México: SEDEMA, CORENA, PAOT, SEDEREC, SEDESO, SEDECO, SECITI. Gobierno Federal: SEMARNAT, CONABIO, SEDESOL, SAGARPA, SEDATU, INAH. Instituciones académicas: UNAM, IPN, UAM, UACM, UACH, entre otras.
Pastizales inducidos	Reconversión productiva. Aplicación de sistemas silvopastoriles. Reforestación de zonas no aptas para esta actividad. Obras de conservación de suelo y agua. Mecanismos de vigilancia para evitar la expansión de este tipo de ecosistema. Ganadería orgánica.	Sociedad organizada: comuneros, ejidatarios, organizaciones no gubernamentales. Gobiernos delegacionales. Gobierno de la Ciudad de México: SEDEMA, CORENA, PAOT, SEDEREC, SEDESO. Gobierno Federal: SEMARNAT, PROFEPA, CONAFOR, SAGARPA, SEDATU. Instituciones académicas: UNAM, IPN, UAM, UACM, UACH, entre otras.

Cuadro 2. Continuación.

Ecosistemas	Lineamientos	Actores involucrados
Áreas verdes urbanas	Aumento de áreas verdes. Saneamiento de arbolado. Reforestación con especies adecuadas a las condiciones urbanas y de bajo consumo de agua. Vigilancia estricta del apego a reglamentos de construcción en la materia. Rediseño de paisaje de la ciudad. Fomento de muros y azoteas verdes. Actividades de educación ambiental.	Sociedad organizada y ciudadanía en general. Gobiernos delegacionales, comités ciudadanos. Gobierno de la Ciudad de México: SEDEMA (Dirección General de Bosques Urbanos y Educación Ambiental), PAOT, SEDUVI, SOBSE, SECTUR. Gobierno Federal: SEMARNAT, CONAFOR, PROFEPA, SEDESOL, SEDATU, SECTUR. Instituciones académicas: UNAM, IPN, UAM, UACM, UACh, entre otras.
General	Coordinación efectiva de los tres niveles de gobierno. Actualización de instrumentos de ordenamiento. Monitoreo participativo e investigación ambiental. Vigilancia y gestión eficientes. Educación ambiental. Incentivos para la conservación. Sanciones adecuadas por delitos ambientales. Fortalecimiento de organismos ciudadanos de vigilancia y gestión.	Además de los actores mencionados en los apartados anteriores, se incluyen: Organismos transversales: Comisión Ambiental Metropolitana, Comisión Metropolitana de Asentamientos Humanos, Iniciativa Bosque de Agua. Gobierno de la Ciudad de México: SEGOB, SEDU, Secretaría de Protección Civil. Gobierno Federal: SEGOB, SEP.

* El caudal ecológico es la cantidad mínima necesaria de agua para que un cuerpo de agua mantenga sus funciones ecológicas, y su determinación y monitorieo está descrito en la Norma Mexicana MX-AA-159-SCFI-2012.
Los acrónimos de las instancias del Gobierno de la Ciudad de México son:
SEDEMA: Secretaría de Medio Ambiente; CORENA: Comisión de Recursos Naturales; PAOT: Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial; SEDUVI: Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda; SEDEREC: Secretaría de Desarrollo Rural y Equidad para las Comunidades; SEDESO: Secretaría de Desarrollo Social; SEDECO: Secretaría de Desarrollo Económico; SECITI: Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación; SECTUR: Secretaría de Turismo; SACMEX: Sistema de Aguas de la Ciudad de México; SOBSE: Secretaría de Obras y Servicios.
Los acrónimos de las instancias del Gobierno Federal son: SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; CONAFOR: Comisión Nacional Forestal; INECC: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático; IMTA: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua; PROFEPA: Procuraduría Federal de Protección al Ambiente; CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, SEDESOL: Secretaría de Desarrollo Social; SEDATU: Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano; SEGOB: Secretaría de Gobernación; SEP: Secretaría de Educación Pública; SECTUR: Secretaría de Turismo; CONAGUA: Comisión Nacional del Agua; SAGARPA: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; INAH: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
Fuente: elaboración propia.

de conservación. La regulación del macroclima es un servicio que entra en el ámbito global, por lo que las actividades realizadas en esta entidad federativa contribuirán de manera parcial a controlar la problemática del cambio climático global. Por su parte los servicios de diversidad cultural y de valor espiritual y religioso, dependen de procesos sociales complejos que se han ido perdiendo con la urbanización, por lo que se debería esperar que al menos se mantengan estables y tratar de incrementarlos.

Referencias

Brañes, R. 1993. El objeto jurídicamente tutelado por los sistemas de protección del patrimonio cultural y natural de México. Pp. 381-405. En: *El patrimonio cultural de México. E. Florescano* (comp.). CNCA/FCE, México.

CAM. Comisión Ambiental Metropolitana. 2014. Acerca de la Comisión Ambiental Metropolitana. En: <*http://comisionambiental.wordpress.com/about/*>, última consulta: octubre de 2014.

Espinosa, G. 1996. *El embrujo del lago: el sistema lacustre de la cuenca de México en la cosmovisión mexica*. México. UNAM.

Ezcurra, E. 1990. *De las chinampas a las megalópolis. El medio ambiente en la cuenca de México*. FCE. México.

Ezcurra, E., M. Mazari, I. Pisanty y A. Aguilar. 2006. *La Cuenca de México*. FCE, México.

Garza, G. 2000. *Ámbitos de expansión territorial*. Pp. 237-246. En: La Ciudad de México en el fin del segundo milenio. C. Garza (coord). COLMEX/GDF, México.

López, R. 1988. *Chinampas. Perspectiva ecológica*. México. Universidad Autónoma de Chapingo.

MA. Millenium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis. World Resources Institute.

Pisanty, I., M. Mazari, E. Ezcurra, *et al*. 2009. El reto de la conservación de la biodiversidad en zonas urbanas y periurbanas. Pp. 719-759. En: *Capital natural de México. vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO, México.

PRONATURA. 2014. Iniciativas. Bosque de Agua. En: <*http://www.pronatura.org.mx/actividades/iniciativas/bosque_de_agua.php*>, última consulta: octubre de 2014.

Rojas, C.A. 2004. *Automatización del método de la Panbiogeografía: identificación de centros de diversidad del Parque Nacional Iztaccíhuatl, Popocatépetl, Zoquiapan y anexas*. Tesis Maestría. UNAM, México.

Sheinbaum, C. 2008. *Problemática ambiental de la Ciudad de México: Diagnóstico y experiencias de gestión* 2001-2006. Limusa, México.

SMA. Secretaría de Medio Ambiente. 2010. Época colonial. El portal de las áreas verdes urbanas de la Secretaría del Medio Ambiente. En: <*http://www.sma.df.gob.mx/avu/index.php?option=com_content&view=article&id=54&Itemi d=67*>, última consulta: 15 de enero de 2010.

——. 2013. Portal de la Dirección de Educación Ambiental. En: <*http://www.sma.df.gob.mx/educacionambiental/*>, última consulta: 8 de febrero de 2013.

Vargas, M.F. 1997. Parques Nacionales de México. Vol. I. Zonas Centro, Oriente y Occidente. México, D. F.: Instituto Nacional de Ecología.

Vela, E. 2004. La Cuenca de México a vuelo de pájaro. *Arqueología Mexicana* 12 (89): 82-87.

UGREDF. Unión de Grupos Rurales Ecoturísticos del Distrito Federal. 2013. Portal de ecoturismo Distrito Federal. En: <*http://www.ecoturismodf.com/miembros.html.*>, última consulta: 8 de febrero de 2013.

Valoración económica de los servicios ecosistémicos

Alonso Aguilar Ibarra

La sociedad se beneficia directa e indirectamente de los servicios ecosistémicos (SE), por ello, reconocerlos y valorarlos adecuadamente ayuda a evitar su pérdida. Esto cobra suma importancia en la Ciudad de México, por el alto crecimiento poblacional y la expansión de la frontera urbana, con la consecuente presión sobre los recursos naturales. En esta sección se describe brevemente la importancia de la valoración económica de los SE.

El utilizar los SE es un indicador de su valor. Sin embargo, no se debe de confundir valor con precio, debido a que son cosas distintas, aunque relacionadas. Por ejemplo, el agua es un recurso natural que tiene un valor económico total que no sólo consiste en su precio de mercado (la tarifa de agua potable), es decir, el agua tiene otros tipos de valor, como por ejemplo la depuración de contaminantes, el transporte, el mantenimiento de la biodiversidad acuática, los valores culturales recreativos o religiosos, entre otros. Estos son ejemplos de SE que no tienen un mercado formal, pero el hecho que no tengan precio, no significa que no tengan valor. Así, la suma de todos estos valores (con mercado y sin mercado) constituye el valor económico total de un ecosistema o recurso natural.

El valor económico total puede expresarse principalmente con dos tipos de valores: de "uso" y pasivos o "de no uso" (figura 1).

En general se habla de un valor de uso cuando hay una utilidad clara y que puede ser directo o indirecto. Por ejemplo, un bosque provee de numerosos SE que expresan el valor económico total de formas diferentes, este es el caso de la tala de árboles para vender la madera, lo que implica un uso directo y se expresa en precios. Pero el bosque también se utiliza indirectamente con los servicios de recarga de acuíferos, la captura de dióxido de carbono y el mantenimiento de microclimas, entre otros; éstos son beneficios indirectos para la sociedad, aún cuando no hay un mercado formal para ellos. El bosque también tiene un valor de herencia para que la sociedad decida en el futuro ya sea su uso directo o su conservación. Esta última característica lo liga al valor de existencia, que es el valor asignado a un recurso natural por alguien que no necesariamente hará uso de él (valor pasivo estricto) pero que su desaparición le representaría una pérdida moral (Turner 2001). En otras palabras, un bosque (u otro ecosistema) tiene valor simplemente por el hecho de existir.

Pero ¿hay alguna manera de estimar los valores que no tienen mercado formal? La respuesta es: sí, por medio de "precios sombra". En economía ambiental, los precios sombra son estimaciones de valor monetario para permitir comparaciones con los precios de mercado formal. Esto permite tener una idea clara del costo ambiental por perder un SE debido, por ejemplo, a la urbanización, la contaminación o la deforestación. Hay diversos métodos por medio de los cuales los economistas ambientales obtienen estimaciones del valor monetario de los SE (cuadro 1).

A. Ibarra, A. 2016. Valoración económica de los servicios ecosistémicos. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.236-239.

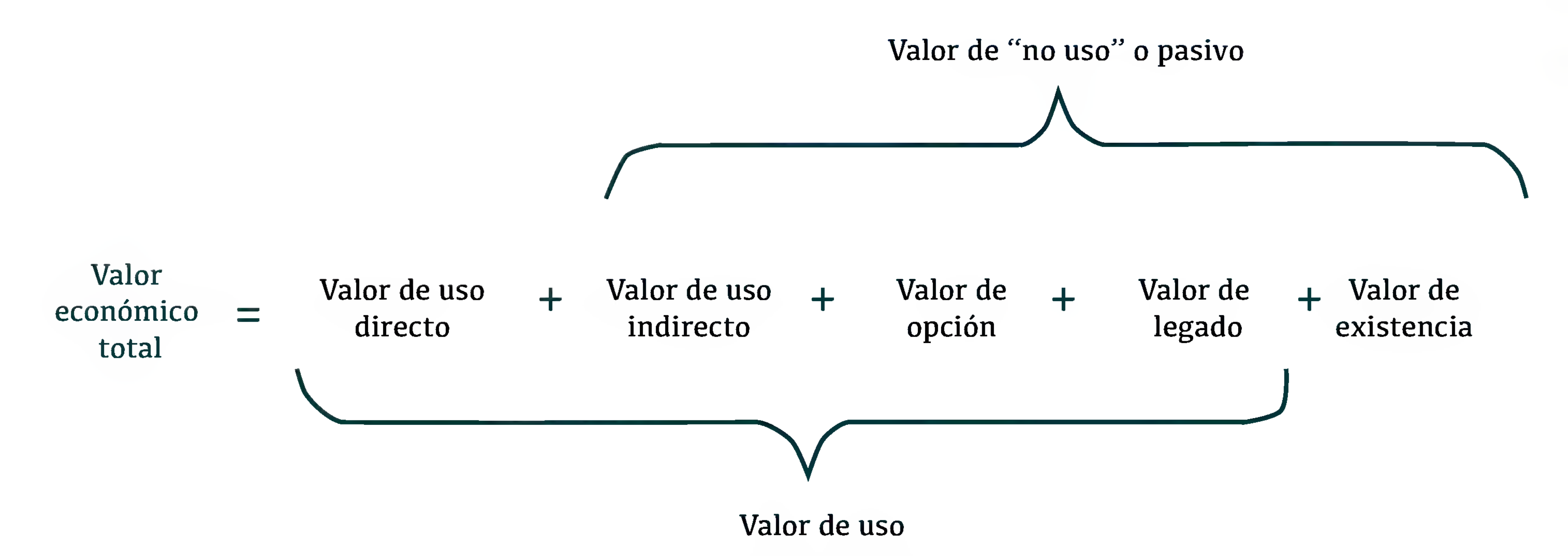


Figura 1. Los componentes del valor económico total de un recurso natural se pueden representar gráficamente como una ecuación o identidad. El límite preciso entre los conceptos de valores de uso y "no uso" es difícil de definir. Fuente: modificado de Turner 2001.

Estos métodos se dividen en los que, por un lado, se fundamentan en la teoría microeconómica neoclásica y por otro, los que no se basan en ella (Turner *et al*. 1993). Dentro del primer grupo existen dos tipos: los que estiman a partir de las preferencias expresadas o declaradas y los que lo hacen con preferencias reveladas. Los métodos basados en preferencias expresadas son: la valuación contingente y el análisis de elección. En la valuación contingente se pregunta al encuestado si está dispuesto a pagar o a aceptar un monto de dinero por un cambio ambiental. El análisis de elección pide a los sujetos que elijan entre alternativas de escenarios de cambios ambientales y se utiliza frecuentemente en economía experimental.

En cuanto a los métodos basados en las preferencias reveladas, los más comunes son el método de costo de viaje y el de los precios hedónicos. El método de costo de viaje se utiliza para estimar funciones de demanda y el valor monetario para los sitios recreativos, los parques nacionales, las áreas naturales protegidas. El supuesto principal es que los costos incurridos en visitar un sitio reflejan su valor. Para el método de precios hedónicos, la idea básica es que la calidad ambiental es un factor que influye en los precios de las propiedades o casas en un lugar determinado.

Otros métodos más sencillos para valuar y que no dan una estimación tan completa, como la valuación contingente, y se utilizan con frecuencia en gestión ambiental, son: el costo de oportunidad, el costo evitado, el costo de remplazo, entre otros. El costo de oportunidad estima el valor por medio de los beneficios no obtenidos por utilizar el recurso natural con otros objetivos, indica los beneficios que se pierden por la degradación ambiental. La CONAFOR lo utiliza para calcular el monto del pago por servicios ambientales en México.

El método de costos evitados, también llamado comportamiento de mitigación o de gastos preventivos, calcula el gasto en bienes o servicios por el cual se evitan daños al ambiente o a la salud. Por ejemplo: tomar agua embotellada si se percibe que el agua de la red pública está contaminada. En este caso el costo incurrido es una medida del valor de la calidad del agua. El costo de reemplazo es una medida por el cual se obtiene el costo de sustituir los SE por alternativas tecnológicas. Ocasionalmente se le considera como una medida de los costos de restauración. Por ejemplo: los costos de depuración de aguas o de infiltración al subsuelo, los programas de reforestación, para derrames petroleros, por citar algunos ejemplos.

Para contar con una unidad de medición común y conocida es que se mide el valor económico total de activos ambientales en dinero. No tiene que ver ni con la venta ni la

Cuadro 1. Métodos de valuación monetaria ambiental.

Método	Características	Principales ventajas	Principales desventajas
Valuación contingente	Estima la disposición a pagar o aceptar por un cambio ambiental.	Estima medidas de bienestar hicksianas. Puede estimar valores pasivos.	Costoso.
Análisis de elección	Estima la aceptación de un escenario de cambio ambiental.	Estima medidas de bienestar hicksianas. Puede estimar valores pasivos.	Costoso.
Costo de viaje	Estima los costos incurridos para visitar un parque o reserva natural.	Estima medidas de bienestar marshalianas. Puede estimar la demanda de activos ambientales.	Costoso. No estima valores pasivos.
Precios hedónicos	Estima el valor de propiedades cercanas a activos ambientales.	Estima medidas de bienestar marshalianas. Apoyo para la planificación del territorio.	Dificultad para conseguir información exacta. No estima valores pasivos.
Costo de oportunidad	Estima los beneficios no obtenidos por una pérdida en ecosistemas.	Facilidad de cálculo. Ofrece respuestas rápidas para la gestión ambiental.	No estima medidas de bienestar. No estima valores pasivos.
Costo evitado	Estima los gastos para prevenir o evitar daños ambientales.	Facilidad de cálculo. Ofrece respuestas rápidas para la gestión ambiental.	No estima medidas de bienestar. No estima valores pasivos.
Costo de reemplazo	Estima el valor de un SE si se tuviera que remplazar por una tecnología.	Facilidad de cálculo. Ofrece respuestas rápidas para la gestión ambiental. Vincula flujos biofísicos con medidas monetarias.	No estima medidas de bienestar. Dificultad para conseguir información exacta. No estima valores pasivos.

Fuente: elaboración propia con base en Turner *et al.* (1993).

privatización de bienes públicos o comunes, al contrario, una valuación económica completa podría ayudar a decidir en controversias como: sacrificar un área natural protegida para construir un desarrollo urbano; un pago justo a ejidatarios por mantener un bosque natural en lugar de talarlo; la compensación por daño ambiental que debe pagar una empresa contaminante y muchos ejemplos más. Sin embargo, sin contar con una comparación clara y equivalente en unidades monetarias, muchos ecosistemas o recursos naturales tienden a ser subvaluados o no considerados para tomar decisiones. Para México, los trabajos de este tipo son muy escasos; Sanjurjo y Welsch (2005) ofrecen una revisión al respecto.

Para la Ciudad de México se puede ejemplificar con la disposición de los consumidores a pagar por mejorar los servicios de disponibilidad de agua potable. Soto Montes de Oca *et al.* (2003) reportan que las personas estarían dispuestas a pagar de manera agregada alrededor de cuatro mil millones de pesos al año para mejorarlos.

Otro ejemplo es el de los agroecosistemas, definidos como áreas de cultivo que, además de generar alimentos, también proveen importantes SE a las zonas urbanas. En la Ciudad de México se tiene el ejemplo interesante en las chinampas de Xochimilco, que son un agroecosistema que incluye humedales y que provee diferentes SE, como la depuración del agua, la captura de carbono, mantenimiento de la biodiversidad y producción de alimentos. Aguilar Ibarra *et al.* (2013) calcularon que el valor monetario de estos SE en Xochimilco está

entre casi 16 mil y casi 25 mil dólares por hectárea al año. Por otro lado, Caro Borrero (2012) calculó, por medio del costo de remplazo, que el valor del SE de infitración en la cuenca del río Magdalena (21 millones m3/año de agua) sería de alrededor de 347 mil dólares por hectárea al año. Estas cifras dan una idea objetiva del costo de oportunidad de perder estos ecosistemas en la entidad.

La valoración económica de los SE también puede apoyar la puesta en marcha de instrumentos de conservación, como es el caso del pago por servicios ambientales (PSA). Este programa fue creado en 2003 como un incentivo económico directo para los dueños de los terrenos forestales, con el fin de mantener la generación de los SE. Estos pagos tratan de compensar los costos de la conservación y los gastos para realizar prácticas de manejo sustentables en los terrenos (SEMARNAT 2010). Este apoyo considera dos modalidades: pago por servicios ambientales hidrológicos (PSAH) y pago por servicios derivados de la conservación (PSA-CABSA), ambos programas se crearon con la finalidad de mantener las funciones de los ecosistemas y favorecer la provisión de servicios (Caro Borrero 2012). Actualmente este programa cambió de nombre a PRONAFOR.

Finalmente, todavía falta mucho para tener estimaciones monetarias de los ecosistemas de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Éstas serían de gran utilidad para la elaboración de políticas públicas, de instrumentos de conservación e, incluso, como criterio para resolver conflictos. Además, este tipo de análisis puede contribuir para desarrollar planes de manejo integrales que involucren variables económicas, tal como se ha ejemplificado a lo largo de esta sección.

Referencias

Aguilar Ibarra, A., L. Zambrano, E.L. Valiente, A. Ramos-Bueno. 2013. Enhancing the potential value of environmental services in urban wetlands: an agro-ecosystem approach. *Cities* 31:438-443.

Caro Borrero, A. 2012. *Evaluación del pago por servicios ambientales hidrológicos: una perspectiva socio-ambiental en la cuenca del río Magdalena, México, D.F.* Tesis de maestría. Maestría en Ciencias del Mar y Limnología. UNAM, México.

Sanjurjo, E. y S. Welsch. 2005. El valor del los bienes y servicios ambientales prestados por los manglares. *Gaceta Ecológica* 74:45-74, INE, México.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. *Estudio para la Caracterización y Diagnóstico del Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio de la Cuenca de México.* SEMARNAT/Gobierno del Estado de México/Gobierno del Estado de Tlaxcala/Gobierno del Estado de Hidalgo/GDF, México.

Soto Montes de Oca, G., I.J. Bateman, R. Tinch y P.G. Moffatt. 2003. Assessing the Willingness to Pay for Maintained and Improved Water Supplies in Mexico City. *The Centre for Social and Economic Research on the Global Environment (CSERGE) Working Paper* ECM 03-11.

Turner, R.K., D. Pearce e I. Bateman. 1993. *Environmental economics: an elementary introduction. New York : Harvester.*

Turner, N.C. 2001. Optimising water use. Pp. 119-135. En: *Crop science, progress and prospects.* J. Nosberger, H.H. Geiger, P.C. Struik (eds.). CABI Publishing, Wallingford, UK.

Estudio de caso

Xochimilco: su importancia en la provisión de servicios ecosistémicos

Marisa Mazari Hiriart
Luis Zambrano González

De un sistema de lagos a un relicto de humedal

La ocupación humana en la cuenca de México se inició hace aproximadamente 25 000 años (Serra-Puche 1990), desde entonces los diferentes grupos humanos han dependido directa o indirectamente de los recursos que les proporciona un sistema lacustre conformado por cinco lagos. De éstos, Chalco y Xochimilco originalmente eran de agua dulce, mientras que Texcoco, Xaltocan y Zumpango eran de agua salobre. Durante la época de lluvias estos lagos ocupaban de 1 000 a 1 100 km², de los 9 600 km² del área total de la cuenca (Aguilar 2000, Legorreta 2009).

Este sistema lacustre representó una fuente de agua y alimentos, lo que originó que grupos nómadas de cazadores-recolectores se asentaran en sus riberas. En el periodo Clásico (300-750) al noreste de la cuenca, Teotihuacán llegó a contar con una población entre 125 mil y 150 mil habitantes, cuando representó un importante centro urbano de Mesoamérica, y una de las ciudades más grandes del mundo. Un factor determinante en su crecimiento demográfico fue la agricultura intensiva de humedad por parte de los productores agrícolas (Parsons 1976, Serra-Puche 1990, Ezcurra *et al.* 2006, Rojas-Rabiela *et al.* 2009). Durante el Postclásico (1150-1350) la ocupación de la cuenca ocurrió de norte a sur, poblando densamente los lagos de Chalco y Xochimilco. Para el Postclásico Tardío (1350-1519), Tenochtitlan, Texcoco y Tacuba surgieron como centros poblacionales importantes, con una población total de aproximadamente 200 000 habitantes (Serra-Puche 1990). Estos grandes centros poblacionales tuvieron un complejo uso y manejo de los recursos naturales, que incluía el agua y los productos que obtenían del sistema lacustre.

Actualmente, existen reminiscencias de los lagos de Zumpango, Chalco y la zona de canales de Xochimilco, y se ha construido una serie de obras para desalojar el agua de la cuenca, lo que ha provocado efectos negativos en la flora y fauna nativas.

La subcuenca Xochimilco-Chalco (figura 1) posee una extensión aproximada de 1 500 km², que hacia el año 1500 albergaba un lago de aproximadamente 148 km² (González-Pozo 2010). Ésta se localiza entre la serranía de Santa Catarina (al norte), la sierra Nevada (al surponiente), la sierra del Chichinautzin (al sur) y Coyoacán (al poniente). En la zona de Xochimilco se encuentran los ríos de San Buenaventura y Santiago, más hacia el sur los ríos de San Gregorio y Milpa Alta (figura 1). El río Amecameca que se origina en el municipio de Chalco fluye en dirección sureste-noroeste hacia la ciudad (Legorreta 2009).

Desde tiempos prehispánicos en esta subcuenca se desarrolló un agroecosistema conocido como sistema chinampero y que debido a la extracción de agua para abastecer a la

Mazari-Hiriart, M. y L. Zambrano. 2016. Xochimilco: Su importancia en la provisión de servicios ecosistémicos. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.240-255.

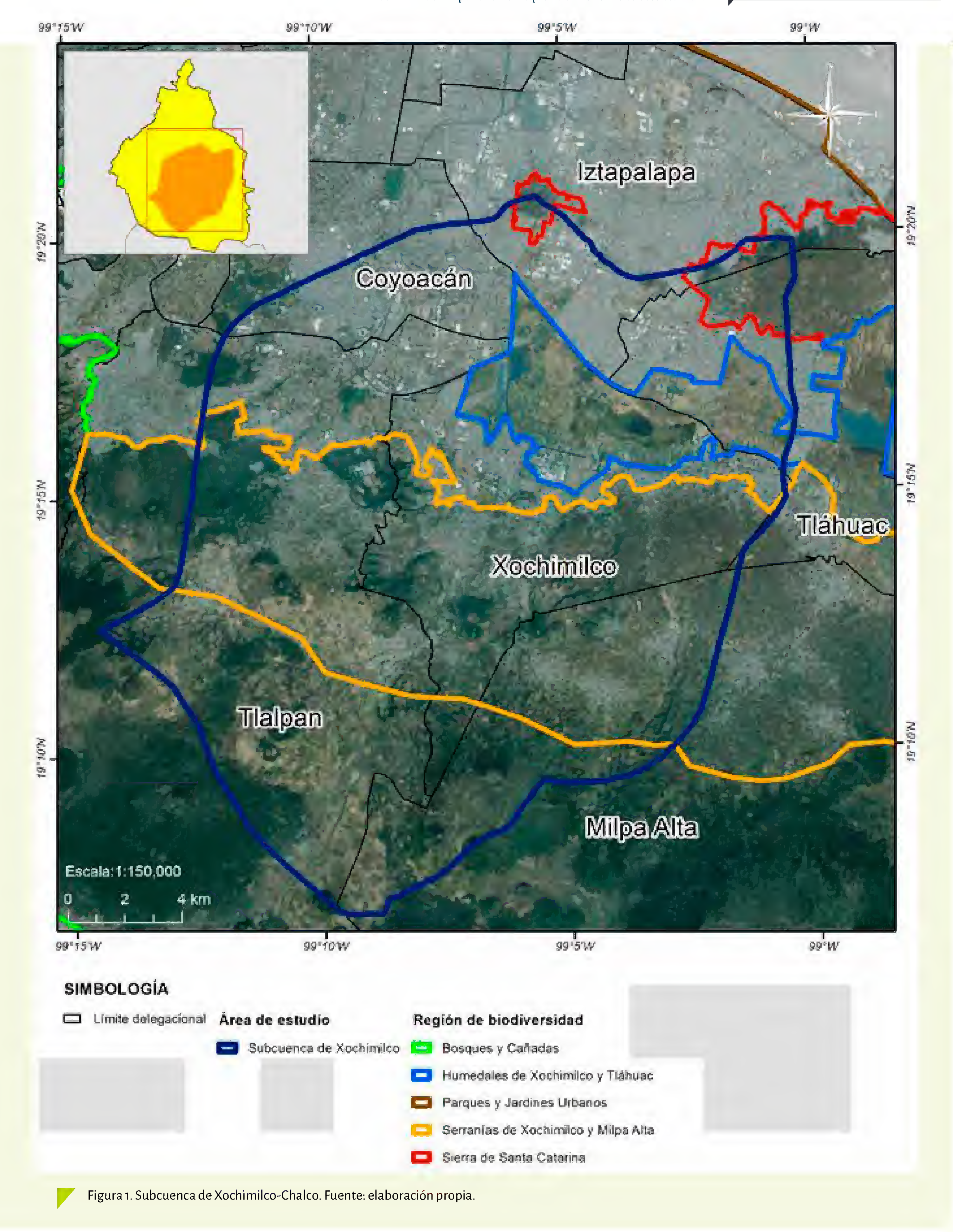


Figura 1. Subcuenca de Xochimilco-Chalco. Fuente: elaboración propia.

Ciudad de México, desde 1945 ha sufrido cambios substanciales que han alterado la hidrología regional debido a la reducción en la captación de agua para alimentar el acuífero, el bombeo de agua subterránea y residual, así como a la urbanización (Crossley 2004).

El proceso de urbanización de esta región se caracteriza por una dinámica de cambio de uso de suelo, donde del cultivo tradicional se pasa al cultivo tecnificado, luego al abandono de las tierras y posteriormente a la instalación de invernaderos. Estos invernaderos necesitan de infraestructura y servicios como construcciones y agua de pozo que tienen que ser resguardadas, por lo cual, al poco tiempo se convierten en tierras habitadas. A partir de esta infraestructura, los invernaderos se vuelven la semilla para urbanizar la zona chinampera (Merlin-Uribe *et al.* 2012).

Además de la urbanización, los invernaderos generan mayor desigualdad económica y social entre la comunidad. El coeficiente de desigualdad de Gini (que va de 0, una sociedad donde todos tienen el mismo ingreso, a 1, una sociedad donde sólo una persona tiene ingresos) es al menos un tercio más grande en la zona donde están los invernaderos, que en las comunidades donde todavía se practica la chinampería (Merlin-Uribe *et al.* 2012).

Desde los años sesenta y setenta, en la zona oriente de Xochimilco existe una expansión sin control y una acelerada ocupación disgregada, con una mezcla de diferentes patrones urbanos en la ocupación del territorio, así como la lotificación de la zona chinampera, con la correspondiente expansión de la mancha urbana (Bazant 2001). A partir de 1957, los afluentes de los canales se han recargado con distintas fuentes y calidades de agua, que incluyen agua residual con y sin tratamiento, lo que ha incrementado paulatinamente su degradación debido a la alta concentración de nutrientes.

Actualmente, el humedal formado por la zona de canales presenta severos problemas ambientales, relacionados con la cantidad y calidad del agua que recibe. Desde la perspectiva microbiológica, se incrementó la presencia de microorganismos dañinos, entre los que se han detectado bacterias y virus entéricos (Aguilar y Mazari-Hiriart 2003, Espinosa *et al.* 2008, Mazari-Hiriart *et al.* 2008); al igual que la concentración de materia orgánica; nutrientes y compuestos químicos (Bojórquez y Villa 1995, UNESCO-Xochimilco 2006, Solís *et al.* 2006). El incremento de estos componentes ocasiona la degradación del hábitat (Zambrano *et al.* 2009), lo cual es crítico, debido a que esta agua se utiliza para riego de las chinampas e interviene en la calidad del productos que aún se pescan en sus canales. La tradición agrícola de Xochimilco es un ejemplo del uso de tecnologías agrícolas y de uso de agua ancestrales, que está perdiéndose de una manera acelerada.

Xochimilco, proveedor de servicios ecosistémicos

Provisión de agua

La zona suroccidental de la cuenca de México y la zona de recarga del acuífero en el sur de la Ciudad de México abastecen gran parte del agua para una población que supera los 20 millones de habitantes en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM). De estos, la ciudad cuenta con 8 873 017 habitantes, y las delegaciones de Xochimilco, Milpa Alta y Tláhuac con 415 007, 130 582 y 360 265, respectivamente (INEGI 2010).

En 1992 la subcuenca Chalco-Xochimilco (que constituye una misma zona geohidrológica), contaba con un total de 425 pozos, 273 de los cuales estaban activos y 152 fuera de operación. Considerando un caudal medio de extracción por pozo de 75 l/s, se estimó para la década de los noventa que la subcuenca Chalco-Xochimilco aportaba un volumen de 31 m^3/s, de un total de 55.6 m^3/s que se extraía de la cuenca de México; lo que representaba 56% del agua proveniente del subsuelo (Mazari *et al.* 1992).

La demanda actual de la ZMCM es de 73 m^3/s, de los cuales 57 m^3/s se extraen del acuífero local mediante cerca de 2 mil pozos, es decir 73% del agua que alimenta la ZMCM. De estos 57 m^3/s, la subcuenca Chalco-Xochimilco aporta en la actualidad cerca de 70% del agua que se extrae del subsuelo, misma que se distribuye en la zona sur de la urbe.

La zona de Xochimilco es considerada como un área predominantemente rural en comparación con otras delegaciones y municipios de la ZMCM. Esta ha sido proveedora de agua utilizada para uso humano, así como para riego en la zona de descarga de las sierras que la rodean, la cual fluía a través de manantiales de buena calidad. Se caracteriza por un bajo número de industrias y gasolineras, no existen depósitos de combustible, cuenta con un área relativamente baja de red de drenaje y con una gran cantidad de pozos de extracción (Soto-Galera *et al.* 2000), por lo que a diferencia de las zonas urbanas tiene menores posibilidades de generar contaminación en el acuífero.

La explotación de agua subterránea y el entubamiento del agua de los manantiales que en el pasado proveían de agua a la zona chinampera de Xochimilco modificaron el sistema hidráulico por completo, al grado que el riego por capilaridad que existía en la zona agrícola se perdió al bajar el nivel freático, así como la conectividad hidráulica a lo largo de la subcuenca.

Cortés y colaboradores (1997) estiman que el tiempo de residencia del agua (el tiempo que el agua permanece en un lugar) en la cuenca de México, es del orden de 50 años. El flujo de agua subterránea en la zona sur de la cuenca de México depende de la velocidad a la cual se transporta a través de las diferentes formaciones geológicas. De acuerdo con Sánchez *et al.* (2000), en las arcillas lacustres el flujo es de 0.2 m/año, mientras que en los depósitos aluviales es de 20 m/año y en las rocas de origen volcánico como basaltos intercalados con depósitos piroclásticos es de 750 m/año. Considerando la permeabilidad de las formaciones geológicas y la conductividad hidráulica del suelo (es decir las características físicas que tiene cada suelo para dejar pasar el agua a través de él) reportada por varios autores y recopilada por Mazari-Hiriart *et al.* (2006), las arcillas que formaban el antiguo lago y que predominan en la zona lacustre de Xochimilco presentan una alta permeabilidad con conductividad hidráulica de $5x10^{-9}$ a $5x10^{-12}$ m/s. La subcuenca de Xochimilco, que ocupa un área mayor y donde se llevan a cabo los procesos que permiten la recarga del acuífero y alimentan los pozos de extracción de agua subterránea, incluye el área de transición donde predominan los materiales aluviales, en la cual existe una mayor infiltración, con una permeabilidad de aproximadamente 20% y una conductividad hidráulica de $4.8x10^{-5}$ a $9x10^{-5}$ m/s. En las partes altas de la subcuenca se presentan materiales volcánicos como los basaltos fracturados, que pueden llegar a presentar un 25% de permeabilidad con conductividades hidráulicas de $6x10^{-5}$ m/s.

Esto implica que el servicio de regulación que prestan los suelos de la región no es homogéneo. La variación espacial en la infiltración debida a las características geológicas del sitio, influye sobre la calidad del agua, y el servicio ecosistémico de soporte en cuanto a la provisión de agua y al aporte de agua a la región y a la ciudad.

Vulnerabilidad de los sistemas de agua superficial y subterránea

Para mostrar espacialmente la vulnerabilidad a la contaminación de los sistemas de agua subterránea y superficial en la subcuenca Xochimilco, se identificaron fuentes potenciales de contaminación en las subucuencas por donde fluyen el agua superficial y subterránea (Mazari-Hiriart *et al.* 2006) (figuras 3*a* y *b*).

Un estudio que evaluó la calidad del agua de dos baterías de pozos ubicadas en Xochimilco, mostró la presencia de *Helicobacter pylori* aún después del proceso cloración (Mazari-Hiriart *et al.* 2003). En otro estudio orientado a la evaluación de riesgo de enfermedades



Figura 2. Entrada de agua al Parque Ecológico de Xochimilco (PEX). Foto: Carlos Galindo Leal/Banco de imágenes de CONABIO.

intestinales e indicadores ambientales se reporta un porcentaje de muestras positivas para indicadores bacterianos en pozos de las delegaciones de: Coyoacán (7.9%), Xochimilco (7.8%), Iztapalapa (4.5%) y Tláhuac (2.9%) (Cifuentes *et al.* 2002).

Provisión de alimentos

La chinampería es obra de diversos grupos sociales que perfeccionaron durante siglos su sistema de producción agrícola; se calcula que tiene una antigüedad de cuatro mil años (Sarukhán 2001), la cual tuvo una expansión a finales del siglo XIV y principios del XV; con un máximo entre 1426 y 1467 (González-Pozo 2010).

El sistema de cultivo en chinampas es de los agroecosistemas más productivos y diversos del mundo, en él se lleva a cabo la producción de alimentos a través de la agricultura, la siembra de árboles para retener la tierra de las parcelas (que en el pasado se alimentaban por capilaridad), así como la explotación de la fauna terrestre y acuática, principalmente a través de la pesca en los canales (Jiménez *et al.* 1995).

Este sistema de cultivo autosostenible está basado en el reciclaje de nutrientes provenientes del sedimento acumulado en el fondo de los canales, con un alto contenido de materia orgánica a manera de islas con forma rectangular, de 4 a 6 m de ancho y entre 5 y 100 m de largo. Las chinampas están formadas por amontonamiento de fango negro sobre carrizos, ramas y raíces en una especie de balsa de ramas, la cual se fija con el ahuejote (*Salix bonplandiana*). Esta especie de sauce que retoña con rapidez y permite la fijación de los materiales de los cuales está construida la chinampa (Schilling 1993).

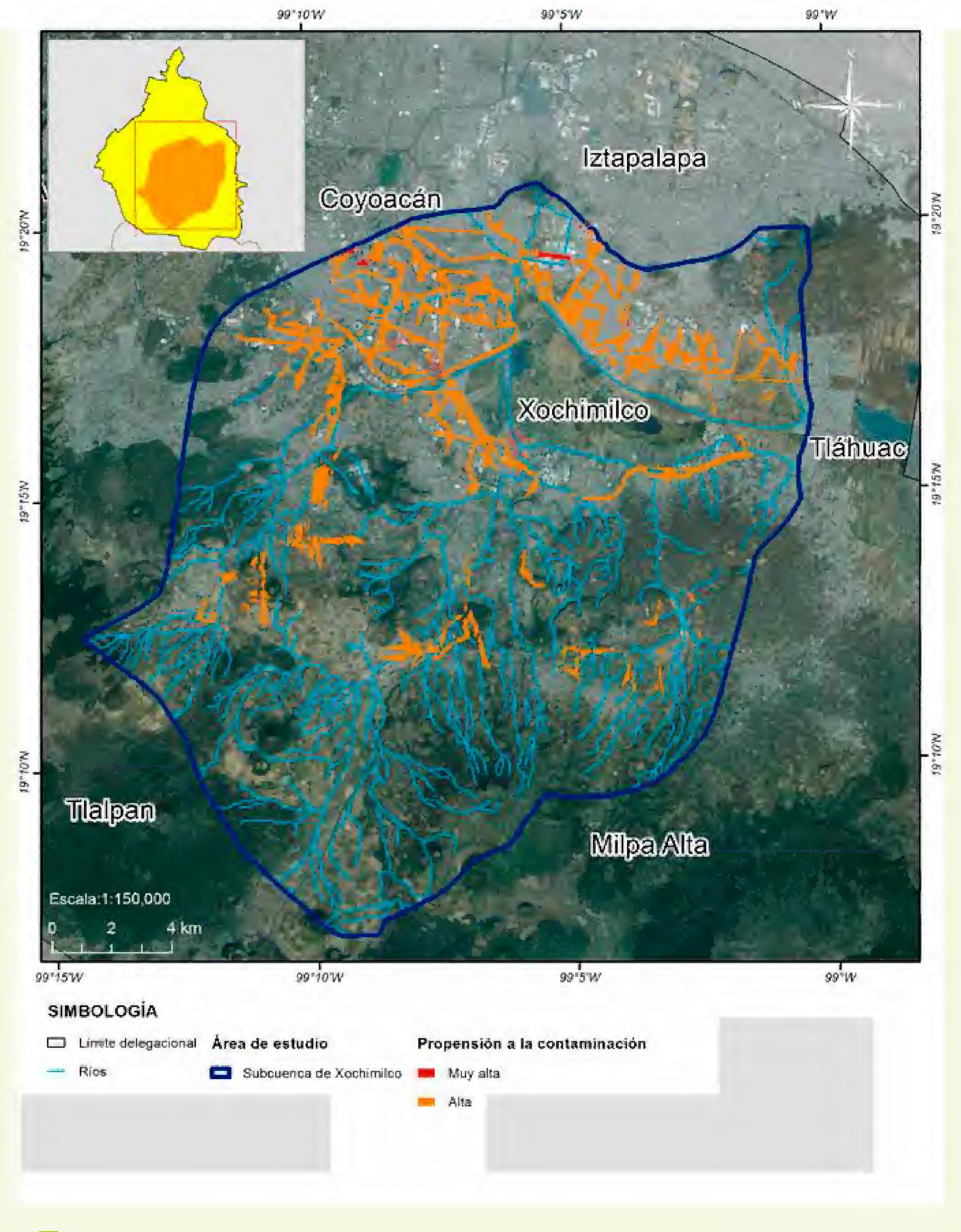


Figura 3*a*. Vulnerabilidad a la contaminación de agua subterránea en la subcuenca Xochimilco. Fuente: Zarco *et al.* 2006.

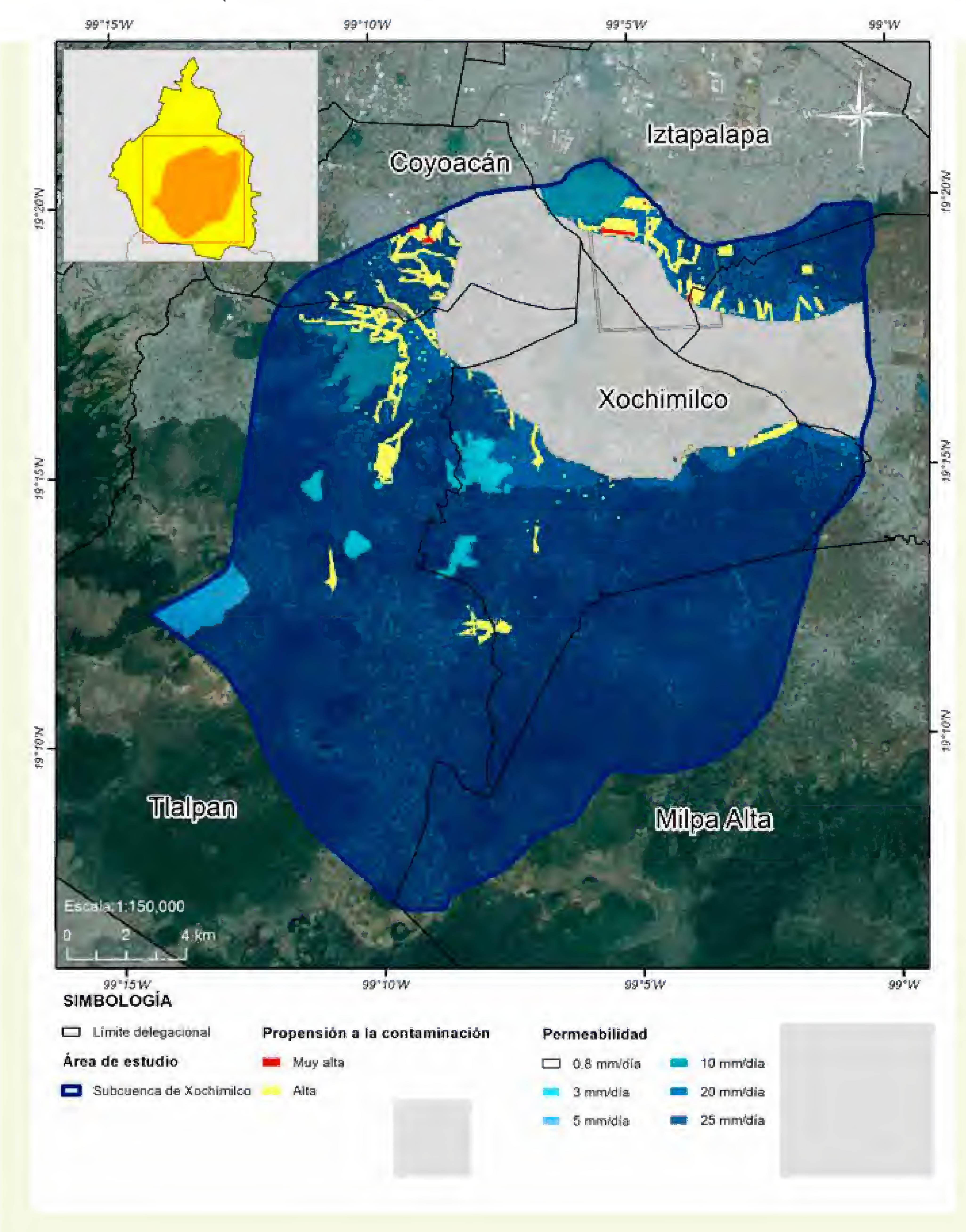


Figura 3*b*. Vulnerabilidad a la contaminación y permeabilidad en el agua superficial en la subcuenca Xochimilco. Fuente: Zarco *et al.* 2006.

Según West y Armillas (1993) la zona más importante de chinampas se reportaba en las orillas sur de los antiguos lagos de Chalco y Xochimilco en los pueblos chinamperos de Xochimilco, Nativitas, Acaplixca, Atlapulco, Tlaxialtemalco, Tulyehualco, Tláhuac, Taltelco, Tezompa y Mizquic. En la actualidad subsisten zonas chinamperas en Xochimilco, San Gregorio Atlapulco, San Luis Tlaxialtemalco, Tláhuac y Mixquic (González-Pozo 2010).

El cultivo de hortalizas a cielo abierto es intensivo y se realiza principalmente en la zona de San Gregorio Atlapulco y en parte de Xochimilco, ya que se han ido abandonando más del 50% de las chinampas. Hace aproximadamente veinte años se inició el uso de invernaderos, que predominan en la zona de San Luis Tlaxialtemalco.

A diferencia de otros sistemas agrícolas temporales en los cuales sólo cuentan con un ciclo de cultivo al año, en las chinampas se reporta la producción de hasta tres ciclos a lo largo de un año. Actualmente, en la región chinampera los cultivos más importantes son: el maíz y las hortalizas que incluyen: la lechuga, la espinaca, el cilantro, la acelga, el perejil, el apio, la zanahoria, el pepino, el rábano, la cebolla, el nabo, la coliflor, la calabaza, el ejote, el jitomate, los quelites y las plantas de ornato, entre otras (López *et al*. 2006, Pérez-Espinosa 2006).

González-Pozo (2010) reporta las estimaciones de grandes estudiosos de la zona chinampera, en las que se señala que en el siglo XV proveía alimento a una población de 37 mil habitantes y en el siglo XVI a 170 mil. Asimismo, menciona que en el auge de Teotihuacán, se estima que la producción de alimentos de la zona chinampera podía proporcionar un excedente alimenticio entre dos y tres veces lo requerido (figura 5).

Servicios de regulación

La zona chinampera posee suelos de origen antropogénico, por lo que se considera que ha



Figura 4. Cultivo de hortalizas en un invernadero en el sistema de chinampas de Xochimilco. Foto: Carlos Sánchez Pereryra/Banco de imágenes de CONABIO.

existido una antropización o humanización del ambiente (González-Pozo 2010). Los suelos contienen un alto contenido de materias orgánicas y nutrientes que permiten el cultivo de hortalizas, flores y plantas de ornato. El sedimento cargado de nutrientes acumulado en el fondo de los canales, que se usa en las actividades agrícolas, contiene una serie de elementos ajenos al sistema y de los cuales se cuenta con poca información (Bojórquez y Villa 1995, Solis *et al*. 2006).

En cuanto a los servicios de regulación, el humedal y las dos ciénegas de Xochimilco (Ciénega Grande y Ciénega Chica), así como las zonas de San Gregorio Atlapulco y San Luis Tlaxialtemanco, actúan como vasos reguladores para la zona sur de la ciudad, evitando que se sufran inundaciones tan severas como las que han sucedido en años recientes en la zona de Chalco. El humedal de Xochimilco funciona como un sistema que regula la temperatura del ambiente a través del agua que contiene durante diferentes épocas del año, lo que permite que la temperatura sea menor en épocas de calor y evita su reducción en épocas de frío. A su vez,



Figura 5. Canal en Xochimilco. Foto: Javier Hinojosa/Banco de imágenes de CONABIO.

tanto el agua como las chinampas reducen la cantidad de luz que se refleja a la atmósfera (albedo), debido a que una región con árboles refleja menos luz que una región con suelo desnudo. Xochimilco funciona como un regulador climático para la región, lo cual consta en los datos de aumento de temperatura atmosférica en la zona en los últimos años. Este aumento en la temperatura está directamente relacionado con el incremento de la mancha urbana en la región.

Servicios culturales

El imperio azteca se desarrolló y mantuvo gracias a un sistema agrícola productivo y de cultura del agua. Xochimilco posee un paisaje agrícola de origen precolombino por lo que es un bien cultural nacional e internacional (González-Pozo 2010).

A pesar de que por su condición ambiental, las chinampas se encuentran en serio riesgo de desaparecer, han permanecido en las creencias, las tradiciones y las costumbres relacionadas con la vida cotidiana alrededor de este sistema lacustre. Las más de 365 fiestas religiosas que se continúan celebrando a lo largo del año en esta zona, son un ejemplo de la influencia del lago y su flora y fauna en la cultura de la región.

El sistema de chinampas y la forma de transporte utilizando trajineras (embarcaciones típicas de la zona), así como la producción de plantas de ornato y flores de las cuales deriva su nombre (lugar donde se cultivan flores), son ejemplos de la influencia de este sistema acuático a la cultura del país y del

mundo. Además de ser el refugio de especies endémicas y de aves migratorias, los canales rodeados de ahuejotes (*Salix bonplandiana*) que resguardan los cultivos chinamperos, son un atractivo turístico de gran belleza escénica que actualmente recibe a más de 2 millones de visitantes al año.

A través de los siglos esta región ha sido fuente de inspiración para artistas como escritores, pintores, fotógrafos y cineastas. Por su colorido, sus flores y sus luces, lo llaman el jardín dormido del tiempo, de los dioses, del Sol y la Luna, entre otros (Artes de México 1993), esto muestra la importancia cultural que representa, con un valor intangible que ha prevalecido a lo largo de los años.

Servicios de soporte

Los sistemas acuáticos por lo general son complejos espacialmente, debido a que tienen zonas de orilla y zonas profundas. Xochimilco presenta la complejidad espacial de un humedal, pero a la vez, la zona chinampera incrementa esta complejidad, debido a la presencia de apantles (canales pequeños alrededor de las chinampas) (Zambrano *et al.* 2009). Esta conformación promueve la permanencia de una alta diversidad de especies dentro del sistema, pues existen una gran cantidad de hábitats y nichos diferentes para las especies (Valiente y Zambrano 2010). Esta heterogeneidad es ideal para especies acuáticas como el axolote (*Ambystoma mexicanum*), el acocil (*Cambarellus montezumae*) y el charal (*Chirostoma jordani*). Los apantles pueden haber generado un aumento en las poblaciones de axolotes puesto que son ricos en insectos y zooplancton, para quienes representan un refugio ideal contra las aves. Existen espacios donde especies de peces vivíparos como los charales amarillos y ovíparos como los charales, sobreviven y se reproducen (Valiente y Zambrano 2010).

Al menos 140 especies de aves habitan este humedal, incluyendo aves migratorias de invierno que encuentran en el complejo sistema de Xochimilco un lugar para reproducirse. A pesar de estar inmerso dentro de la Ciudad de México, este sistema espacialmente complejo, en donde las condiciones naturales de un humedal se combinan con la complejidad generada por la chinampería tradicional, promueve que exista una alta biodiversidad en la región.

Axolote especie emblemática

A pesar de la alta biodiversidad en México, pocas especies pueden ser consideradas un ícono nacional como el axolote endémico de Xochimilco, que además de su influencia en la cultura, inspiró a renombrados naturalistas como Alexander Von Humboldt, Georges Cuvier y Stephen Jay Gould.

El hábitat del axolote está íntimamente ligado a la complejidad espacial de las chinampas, al generar un paisaje laberíntico de canales, humedales y lagos. En los últimos 10 años el axolote de Xochimilco ha reducido su población de 6 mil a 100 individuos/km^2. Entre las principales amenazas que enfrentan los axolotes están la implementación de invernaderos (que ha generado abandono en las prácticas tradicionales y reducido todavía más la calidad del agua), la depredación de huevos y juveniles de axolotes por carpas (*Cyprinus carpio*) introducidas de Asia y tilapias (*Oreochromis niloticus*) de África (Zambrano *et al.* 2007) y la competencia por su alimento (Zambrano *et al.* 2010). Debido a estas amenazas, los pocos axolotes que quedan están confinados a pequeñas áreas aisladas (Contreras *et al.* 2009).

Se han propuesto programas de reintroducción de axolotes adultos, sin embargo, estos tienen pocas posibilidades de éxito debido a que la sensibilidad poblacional de los axolotes se encuentra en los huevos y los juveniles, pero no en los adultos (Zambrano *et al.* 2007), es decir, el cambio en la sobrevivencia de los huevos y juveniles afecta mucho más la tasa de crecimiento poblacional que la sobrevivencia de los adultos o la cantidad de huevos por hembra. Un método de conservación es la

reintroducción, lo que conlleva a un cuello de botella genético, con lo que se aumentan las probabilidades de que los cruces se den entre miembros de la misma familia, reduciendo su variabilidad genética y promoviendo la fijación de alelos recesivos en la población. Además, la gran mayoría de las colonias están infectadas por hongos quitridios (*Chytridium* sp.) (Frías-Álvarez *et al.* 2008).

Otro método para restaurar las poblaciones de axolotes en su hábitat natural se basa en la generación de refugios, utilizando el conocimiento ecológico que se ha obtenido sobre el axolote. Se conoce su historia de vida, su sitio en la pirámide alimentaria, sus preferencias de oviposición y sus principales depredadores. Esta información es indispensable para generar refugios, que son sitios donde las especies nativas pueden sobrevivir e interactuar y a la vez proveen de agua de mejor calidad a las chinampas. Los canales chinamperos son suficientemente pequeños para poder generar filtros rústicos que aumenten la calidad del agua y aíslen el canal de las especies exóticas. Además los filtros promueven agua en condiciones libres de bacterias y metales pesados lo que será benéfico para el riego de los productos chinamperos.

Es difícil generar las condiciones ideales del axolote en todo Xochimilco debido al costo de inversión. Además, aislaría a la conservación del axolote de las actividades humanas tradicionales, rompiendo la ya casi nula relación entre la vocación de la tierra de Xochimilco con su gente. Sin embargo, la restauración a nivel local y la generación de refugios es una solución alternativa con potencial (figura 6).

Hundimiento diferencial

En los estratos lacustres originales se observan una serie de deformaciones descritas por Mazari *et al.* (1995), asociadas tanto con el sistema constructivo de las propias chinampas, como por consolidación de las arcillas y la expulsión de agua. En este proceso de hundimiento las zonas más profundas de las ondulaciones no corresponden a los canales, sino a los centros de los bloques que forman las chinampas y las menos profundas a las franjas ocupadas por los antiguos canales.

Como resultado de la reducción del nivel freático, a más de 2 m de profundidad, se pierde la posibilidad de aprovechar la humedad por capilaridad para el crecimiento de las flores y las hortalizas. El hundimiento se asocia con el agrietamiento de la primera formación arcillosa del subsuelo lo que hace que se pierda la cohesión de la arcilla y se formen grietas. El fenómeno se presenta en la zona de Chalco-Xochimilco en la que se lleva a cabo el bombeo de 27 m^3/s, con una velocidad de hundimiento de 30 cm/año.

Esto implica la pérdida del servicio de regulación de la formación arcillosa superior y se calculó que para el año 2038 esta formación se verá afectada (Mazari 1996). Lo anterior pone en evidencia el serio riesgo de la pérdida de un servicio fundamental de la formación arcillosa de protección al acuífero que proporciona agua para la Ciudad de México. Como resultado del hundimiento regional se está formando de nuevo una zona permanentemente inundada, tanto en San Gregorio Atlapulco como en Chalco.

Acciones de conservación

Reactivación de la zona de recarga y flujo hídrico

Las zonas chinamperas que subsisten al sur de la cuenca de México podrían ser reactivadas y volver a producir alimentos. Aún con los cambios irreversibles en el régimen hídrico, ha sido posible mantener zonas activas, como es el caso de San Gregorio Atlapulco y la zona de San Luis Tlaxialtemalco, en donde se presenta una alteración completa con la instalación de invernaderos.

Sería factible recuperar áreas chinamperas en la zona de Xochimilco, San Gregorio, San Luis, Tláhuac y Mixquic, antes que la mancha urbana o las vías de comunicación las invadan. Esto



Figura 7. Axolote mexicano (*Ambystoma mexicanum*) habitante de los canales de Xochimilco. Foto: Miguel Ángel Sicilia Manzo/Banco de imágenes de CONABIO.

permitiría seguir contando con un cinturón verde en la zona sur de la ciudad ya que propicia un microclima y ayuda a la regulación de la calidad del aire, sirve como zona reguladora para evitar inundaciones en época de lluvias, y proporciona espacios que permiten una infiltración y percolación del agua hacia el acuífero de acuerdo con el material geológico en cada zona.

Al depender fundamentalmente de agua tratada para el mantenimiento de la zona de canales, es prioritario mejorar la calidad del agua que alimenta los canales y que puede estar infiltrándose para la recarga del sistema de acuíferos. Es necesario entender los procesos que suceden en los sedimentos, debido a que éstos influyen tanto en las condiciones del sistema de agua superficial como subterránea.

Recuperación de hábitats

Un grupo de chinamperos y científicos con conocimientos empíricos y técnicos se organizaron para conservar el axolote. El programa que comenzaron contempla el mantenimiento y la conservación de la producción chinampera. Consideran que parte del financiamiento para realizar estas acciones, puede venir del pago por servicios ecosistémicos, considerando que existe una demanda real de la ciudad por los servicios que provee Xochimilco.

Actualmente, se está evaluando la calidad del agua y la abundancia de insectos, crustáceos y peces dentro de los refugios experimentales, así como el crecimiento individual de los axolotes, utilizando 36 individuos que fueron introducidos de manera experimental en enero del 2009, los cuales se identifican mediante un microchip y su salud se está evaluando constantemente.

La evaluación anual (2009) de estos canales sugiere que hay un aumento en la calidad del agua. El agua de los refugios aumentó 15% en su transparencia. El amonio se redujo 77% y los nitratos 87%. La abundancia de los invertebrados no varió significativamente excepto por las larvas de los odonatos que fueron bastante más abundantes en los refugios. Los axolotes recapturados en el refugio ganaron en

promedio 12% de peso más de lo que ganan habitualmente durante el mismo periodo (Zambrano 2007). Esto sugiere que las condiciones dentro del refugio son suficientemente buenas para su sobrevivencia.

El objetivo tanto de los investigadores como de los chinamperos es crear más refugios para cubrir al menos 10% de los canales en las chinampas, los cuales deben funcionar como puentes entre las áreas potencialmente aptas para su sobrevivencia (Contreras *et al.* 2009).

La restauración del hábitat del axolote incluye procesos complejos que deben ser discutidos entre los diferentes actores sociales implicados, debido a que la inminente extinción de los axolotes no deja mucho espacio para errores. Esta deberá traer no sólo un aumento en la población de estos organismos, sino también beneficios para la gente local y para el humedal (Berezowsky 1995, Okun 1997). Es por ello que para tener éxito en la restauración de sistemas acuáticos es indispensable el trabajo en conjunto entre la academia, los chinamperos y los pobladores locales.

Control de especies invasoras

Xochimilco no está exento de especies invasoras que generan problemas tanto en la zona chinampera como en la comunidad acuática. Existen dos especies que afectan de manera directa a los ahuejotes (*Salix bonplandiana*): el malacosoma o gusano de bolsa (*Malacosoma incurvum*) y el muérdago (*Cladocolea loniceroides*). Cuando la primera crece de manera desmedida, la sobrepoblación comienza a afectar a muchos de los ahuejotes que llegan a morir.

El muérdago es una especie exótica introducida de Europa que genera actualmente muchos estragos en los ahuejotes. El mayor problema del muérdago es su capacidad de dispersión, ya que las aves lo trasladan de árbol en árbol. Una vez el muérdago se instala en el árbol es muy posible que este tenga que talarse, ya que es muy difícil eliminar únicamente las partes invadidas.

Otra especie exótica que afecta a la mayoría de los cuerpos de agua nacionales, entre ellos Xochimilco, es el lirio (*Eichhornia crassipes*). Esta planta flotadora puede convertir a los canales de Xochimilco en alfombras verdes imposibles de transitar con las trajineras.

En cantidades pequeñas el lirio puede servir como refugio para muchos animales, en particular insectos, y los axolotes a menudo dejan huevos en sus raíces (Marin 2007), por lo cual, el lirio puede cumplir la misma función que muchas plantas nativas de Xochimilco, siendo la base de la cadena alimenticia y proveyendo refugio para que crezcan las poblaciones de muchas especies de invertebrados que serán el alimento de los anfibios y peces. Además, es una especie que absorbe todos los metales pesados que se encuentran en el agua funcionando como una planta de tratamiento en pequeño. Sin embargo, cuando las poblaciones de lirio llegan a cubrir completamente el espejo de agua, impiden el paso de la luz al fondo del cuerpo de agua y el intercambio gaseoso. Esto promueve el establecimiento de condiciones anóxicas nocivas para las especies que ahí habitan.

Al ser una especie invasora la posibilidad de erradicación completa es prácticamente nula, debido a que las invasiones como las extinciones son para siempre. Debido a lo anterior, el manejo ideal para esta especie invasora es la de controlarlo en pequeñas “islas de lirio” en donde las orillas de las islas sean proporcionalmente mayores al área que ocupa el centro, con lo que los beneficios serán mayores que los perjuicios. Sin embargo, esto necesita de una constante capacidad de manejo del sistema. En otras palabras, no se puede dejar de manejar a esta especie durante todo el año.

Dentro de las especies de peces exóticos que afectan mayormente a los canales de Xochimilco, se encuentran la carpa (*Cyprinus carpio*) y la tilapia (*Oreochromis niloticus*). Ambas especies fueron introducidas para la acuacultura extensiva en los canales. La pesca de estas especies no es una actividad extendida entre los habi-

tantes de Xochimilco y sólo unos cuantos pescadores se dedican a esta actividad de tiempo completo. De hecho, durante mucho tiempo estuvo prohibida la pesca en los canales, por lo que fue muy difícil para los pescadores sobrevivir a estas líneas de política contradictorias.

Consecuentemente, las poblaciones de ambas especies han crecido de manera desmesurada y se han convertido en plaga. Los efectos iniciales sobre el ecosistema es el aumento de la turbidez por medio de la resuspensión del fondo al forrajear y hacer sus nidos, lo cual reduce la capacidad de las plantas nativas sumergidas para realizar la fotosíntesis. El forrajeo también provoca un deslave de las orillas de las chinampas reduciendo el terreno y provocando la caída de los ahuejotes. Además, generan competencia pues ambas especies se alimentan de los mismos organismos que son presa de las especies nativas como los charales, los axolotes y los acociles.

Para la reducción de estas especies se generaron programas, por medio de una nueva técnica de pesca intensiva, que evitan maltratar a las especies nativas. Esta técnica consiste en colocar una red al fondo de un canal y “arrear” a las especies exóticas por medio de golpear el agua con palos para que lleguen a ese lugar, luego se levanta la red con los organismos atrapados. Con esta técnica no se capturan a las especies nativas porque éstas buscan refugio enterrándose en el lodo y los peces nativos son más pequeños que la luz de malla, por lo que pueden escapar fácilmente.

Esta técnica se puede pescar alrededor de una tonelada por día con lo que la reducción puede ser significativa. En el primer periodo (mayo 2005 a octubre 2006) se colectaron cerca de 90 t y en el segundo periodo (enero a diciembre 2007) alrededor de 180 t. Sin embargo, existían en esos años más de 1 000 t de pez en Xochimilco. Estas reducciones han promovido un cambio en las condiciones ambientales, lo que permitió un aumento de la distribución potencial de las especies nativas dentro de los canales. En un estudio comparativo, la distribución potencial de los charales fue mayor después de la extracción (Contreras 2012); esto implica que la capacidad de resiliencia del sistema es todavía lo suficientemente amplia como para que reaccione de manera positiva a las prácticas de restauración bien pensadas.

Conclusión y recomendaciones

Xochimilco requiere de un programa de restauración, debido a que en los últimos 60 años este importante ecosistema se deterioró drásticamente, al reducirse su calidad del agua y al sufrir de la sobreabundancia de especies invasoras. Las zonas chinamperas que aún subsisten podrían ser reactivadas y contar con una producción de alimentos para la ciudad de México, en lugar de importar alimentos de otros lugares para proveer de ellos a la capital.

A pesar de su deterioro, en la actualidad este sistema proporciona servicios ecosistémicos, tanto de producción de alimentos, plantas ornamentales, provisión de agua a través del gran número de pozos de extracción, regulación de los excedentes de agua en época de lluvias, así como a la generación de un microclima para la zona sur de la ciudad. Sin embargo, este ecosistema no es valorado, ni por su productividad, ni por los servicios ecosistémicos que presta a la urbe.

Xochimilco y sus zonas aledañas son una región emblemática, que debe recuperarse y mantenerse por la serie de bienes y servicios que presta a la Ciudad de México, así como por representar un sitio de identidad para los habitantes.

Referencias

Aguilar, A.G. 2000. Localización Geográfica de la Cuenca de México. Pp. 31-38. En: *La Ciudad de México en el fin del segundo milenio*. G. Garza (ed.). GDF/COLMEX.

Aguilar, J. y M. Mazari-Hiriart. 2003. Escherichia coli *Virulence Factors in Water from the Xochimilco Area, Mexico City. 4th International Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse, 19th November. Mexico City,* Mexico: International Water Association.

Artes de México. 1993. *Xochimilco*. Editorial Artes de México. Libro Cuatrimestral 20. México.

Bazant, J. 2001. *Periferias Urbanas. Expansión urbana incontrolada de bajos ingresos y su impacto en el medio ambiente*. Ed. Trillas, México.

Berezowsky, M. 1995. Constructed wetlands for remediation of urban waste waters. *Geoscience Canada* 22:129-141.

Bojórquez, L. y F. Villa. 1995. El ecosistema lacustre. Xochimilco y el deterioro de las chinampas. Pp. 85-137. En: *Presente, pasado y futuro de las chinampas*. T. Rojas-Rabiela (ed.). Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, México.

Cifuentes, E., M. Mazari-Hiriart, F. Carneiro, *et al.* 2002. The risk of enteric diseases in young children and environmental indicators in sentinel areas of Mexico City. *International Journal of Environmental Health Research* 12:53-62.

Cortés, A., J. Durazo y R.N. Farvolden. 1997. Studies in isotopic hydrology of the Basin of Mexico and vecinity: Annotated bibliography and interpretation. *Journal of Hydrology* 198:346-376.

Contreras, V., E. Martínez-Meyer, E. Valiente-Riveros y L. Zambrano 2009. Recent decline and potential distribution in the last remnant area of the microendemic Mexican axolotl (*Ambystoma mexicanum*). *Biological Conservation* 142:2881-2885.

Contreras, V. 2012. *Variables bióticas y abióticas como indicadores de heterogeneidad en el lago de Xochimilco, Distrito Federal*. Tesis de maestría, posgrado de ciencias biológicas. UNAM, México.

Crossley, P.L. 2004. Sub-irrigation in wetland agriculture. *Agriculture and Human Values* 21:191-205.

Espinosa, A.C., M. Mazari-Hiriart, R. Espinosa, *et al.* 2008. Infectivity and genome persistence of rotavirus and astrovirus in drinking and irrigation water. *Journal of Water Research* 42:2618-2628.

Ezcurra, E., M. Mazari-Hiriart, I. Pisanty y A.G. Aguilar. 2006. *La Cuenca de México. Aspectos ambientales y sustentabilidad*. FCE/UNAM , México.

Frías-Álvarez, P., V.T. Vredenburg, M. Familiar-Lopez, *et al.* 2008. Chytridiomycosis survey in wild and captive Mexican amphibians. *Ecohealth* 5:18-26.

González-Pozo, A. 2010. *Las Chinampas de Xochimilco al despuntar del siglo XXI: inicio de su catalogación*. UAM. Ed. Servicios Gráficos, México.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2010. Censo de Población y Vivienda 2010. México. En: <*http://www.censo2010.org.mx*>, última consulta: 2 de octubre de 2012.

Jiménez, J.J, T. Rojas-Rabiela, S. del Amo y A. Gómez-Pompa. 1995. Conclusiones y recomendaciones del Taller. Pp. 19-43. En: *Presente, pasado y futuro de las chinampas*. T. Rojas-Rabiela (ed.). Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social. México.

Legorreta, J. 2009. *Ríos, lagos y manantiales del Valle de México*. UAM/GDF. Artes Impresas Eón, S.A. de C.V. México.

López A., M. Guerrero, C. Hernández y A. Aguilar. 2006. Rehabilitación de la zona chinampera. Pp.201-230 En: *Xochimilco. Un proceso de gestión participativa*. GDF/ONU/UNESCO. Imprenta Crear Imagen, México.

Marin, A.I. 2007. *Preferencia de plantas en la ovoposición del ajolote* Ambystoma mexicanum, *en condiciones de laboratorio*. Tesis de Licenciatura, facultad de ciencias. UNAM. México.

Mazari, M. 1996. *La Isla de los perros y el agrietamiento de arcillas lacustres*. El Colegio Nacional, México.

Mazari, M., H.M. Mazari, C. Ramírez y J. Alberro. 1992. Efectos de la extracción de agua en la zona lacustre de la Cuenca de México. Pp. 37-48. En: *Volumen* Raúl J. Marsal. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C. México.

Mazari, M., J. Alberro y R.J. Marsal. 1995. Deformaciones inducidas por chinampas en depósitos lacustres de la Cuenca de México. Pp. 265-281. En: *Presente, pasado y futuro de las chinampas*. T. Rojas-Rabiela (ed.) Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, México.

Mazari-Hiriart, M., Y. López-Vidal, S. Ponce de León, *et al.* 2003. Bacteria and disinfection by-products in water from Southern Mexico City. *Archives of Environmental Health* 58: 233-237.

Mazari-Hiriart, M., G. Cruz-Bello, L.A. Bojórquez-Tapia, *et al.* 2006. Groundwater Vulnerability Assessment for Organic Compounds: Fuzzy Multicriteria Approach for Mexico City. *Environmental Management* 37:410-421.

Mazari-Hiriart, M., S. Ponce-de-León, Y. López-Vidal, *et al.* 2008. Microbiological Implications of Periurban Agriculture and Water Reuse in Mexico City. *PLoSONE* 3: 1-8.

Merlín-Uribe, Y., A. Contreras-Hernández, M. Astier-Calderón, *et al.* 2012. Urban expansion into a protected natural area in Mexico City: alternative management scenarios. *Journal of Environmental Planning and Management* 1:1-14.

Okun, D. A. 1997. Distributing reclaimed water through dual systems. *Journal American Water Works Association* 89: 52-64.

Parsons, J.R. 1976. Settlements, and population history in the Basin of Mexico. Pp 69-100. En: *The Valley of Mexico: Studies in Prehispanic Ecology, and Society*. E.R. Wolf (coord.). University of New Mexico Press, Albuquerque.

Pérez-Espinosa, J.G. 2006. El trabajo y la producción chinampera. Pp. 222-223. En: *Xochimilco. Un proceso de gestión participativa*. GDF, ONU y UNESCO. México.

Rojas-Rabiela, T., J.L. Martínez Ruiz y D. Murillo Licea. 2009. *Cultura hidráulica y simbolismo mesoamericano del agua en el México prehispánico*. IMTA/CIESAS, México.

Sánchez, L.F., M. Jacobo y A. Cardona. 2000. Estudio para la recarga del acuífero en el Suelo de Conservación del Distrito Federal. DDF, México.

Sarukhán, J. 2001. Un modelo de sustentabilidad. Pp. 3-5. En: *La Chinampa. Evaluación y Sustentabilidad*. E. Stephan-Otto y A. Zlotnik-Espinosa (eds.). Patronato del Parque Ecológico de Xochimilco, A.C./UAM, México.

Schilling, E. 1993. Los jardines flotantes de Xochimilco (1938). Pp. 77-109. En: *La Agricultura Chinampera. Compilación Histórica*. T. Rojas-Rabiela (ed.). Universidad Autónoma de Chapingo, México.

Serra-Puche, M.C. 1990. El pasado ¿Una forma de acercarnos al futuro? 25 mil años de asentamientos en la Cuenca de México. Pp. 3-28. En: *Problemas de la Cuenca de México*. J. Kumate y M. Mazari (coords.). El Colegio Nacional, México.

Solís, C., J. Sandoval, H. Pérez-Vega y M. Mazari-Hiriart. 2006. Irrigation water quality in southern Mexico City based on bacterial and heavy metal analyses. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 249:592-595.

Soto-Galera, E., M. Mazari-Hiriart y L.A. Bojorquez-Tapia. 2000. Entidades de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México propensas a la contaminación de agua subterránea. *Investigaciones Geográficas* 43:60-75.

UNESCO-Xochimilco. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Cienciay la Cultura-Xochimilco. 2006. Xochimilco: Un Proceso de Gestión Participativa. Mexico City: Gobierno del Distrito Federal-Delegación Xochimilco-Proyecto UNESCO-Xochimilco, pp. 183-229.

Valiente, E. y L. Zambrano. 2010. Creating refuges for the axolotl (*Ambystoma mexicanum*). *Ecological Restoration*. 28: 257-259.

West R.C. y P. Armillas. 1993. Las Chinampas de México. Poesía y Realidad de los "Jardines Flotantes" (1950). Pp. 111-128. En: *La Agricultura Chinampera. Compilación Histórica*. T. Rojas-Rabiela (ed.). Universidad Autónoma de Chapingo, México.

Zambrano, L., E. Vega, G. Herrera, *et al.* 2007. A population matrix model and population viability analysis to predict the fate of an endangered species in a highly managed water system. *Animal Conservation* 10:297-303.

Zambrano, L., V. Contreras, M. Mazari-Hiriart y A.E. Zarco-Arista. 2009. Spatial heterogeneity of water quality in a high altitude tropical managed freshwater system. *Environmental Management* 43:249-263.

Zambrano, L., E. Valiente y J. Vander Zanden. 2010. Food web overlap between the native axolotl (*Ambystoma mexicanum*) and the exotics carp (*Cyprinus carpio*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Biological Invasions* 12:3061-3069.

Zarco, A.E., M. Mazari-Hiriart, L. Luna, *et al.* 2006. Propensión a la contaminación del agua en la subcuenca Xochimilco. "Hortillonages" y chinampas ¿Cuál gestión y cuál porvenir para esto espacios frágiles y amenazados? Segundo Coloquio Franco-Mexicano. Amiens, Francia. 15 junio, 2006.

Hacia la recuperación y protección de los servicios ecosistémicos

Lucia Almeida Leñero
Teresa González Martínez
Alonso Aguilar Ibarra
Irene Pisanty Baruch

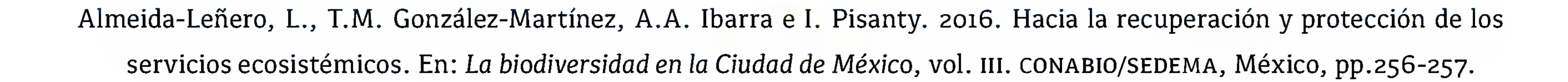
En el suelo de conservación (SC) y en los relictos de los sistemas naturales de la Ciudad de México, todavía funcionan los procesos ecológicos que originan y mantienen a los servicios ecosistémicos (SE) que son esenciales para el funcionamiento de la ciudad. Aun así, hay zonas con señales alarmantes de deterioro, debido a la creciente modificación en la estructura y la función de los ecosistemas naturales, no han podido recuperarse con las medidas realizadas.

Para poder evaluar estas zonas, se requiere urgentemente de estudios especializados que proporcionen las bases para un manejo adecuado, lo que traería beneficios tanto para el mantenimiento como para la generación de otros SE, como los de soporte, donde la información es muy escasa. La urbanización es una seria amenaza para los recursos genéticos, debido a que se ha alterado drásticamente la superficie del suelo y el microclima. Se debe poner atención especial a los SE de provisión de agua, a la regulación de la erosión y del clima, entre otros, para así poder reducir los efectos del cambio climático.

Para asegurar la viabilidad de la ciudad, debe generarse una estrategia ambiental y una agenda de investigación con la participación activa de los principales actores; que contemple de manera integral, el mantenimiento y la conservación de todos los SE, poniendo énfasis en el mantenimiento de la biodiversidad. Es necesario promover el mantenimiento de condiciones ambientales especiales, que es una de las mejores estrategias preventivas para lograr un estado saludable de la población humana y de los ecosistemas. Con base en dicha estrategia se deben implementar políticas públicas de manejo, que integren acciones, donde se tome en cuenta el conocimiento forestal y agrícola tradicional para que las comunidades rurales y los habitantes de la ciudad sean beneficiados.

Algunos servicios donde debe ponerse atención son: control de plagas y enfermedades, que guarda una relación estrecha con la conservación de las especies, sus interacciones y con los procesos que les afectan, como son la fragmentación y el deterioro de los ecosistemas. Los SE de provisión maderables y no maderables que a pesar de ser servicios de vital importancia, se cuenta con muy poca información. Para reducir los efectos de la erosión, sería adecuado usar técnicas de conservación de los suelos como: la rotación de cultivos, la formación de bordes arbolados en campos de cultivo, evitar la quema de residuos de las cosechas y el uso de capas protectoras de suelo. Es urgente recuperar la conectividad de hábitats para los polinizadores, considerando prácticas de conservación de polinizadores nativos, evitar el uso de pesticidas y proteger las cuevas en donde habiten murciélagos, unos de los principales depredadores de insectos.

Debe propiciarse el mantenimiento e incremento de superficies para los jardines urbanos, ya que suministran SE y con ello promueven la



Almeida-Leñero, L., T.M. González-Martínez, A.A. Ibarra e I. Pisanty. 2016. Hacia la recuperación y protección de los servicios ecosistémicos. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.256-257.

generación de sistemas de corredores biológicos urbanizados, que pueden potenciar los beneficios que brindan, privilegiando el uso de especies nativas.

Debe ser prioritaria la conservación de las regiones Bosques y Cañadas, y Serranías de Xochimilco y Milpa Alta, que incluyen la mayor parte de la superficie del SC, debido a que tienen un papel sobresaliente por el estado de conservación de sus ecosistemas y porque permiten los procesos ecosistémicos, en especial los de soporte y regulación, además de ser una fuente de servicios de provisión y culturales.

Finalmente debe continuarse y perfeccionarse el programa de pago por servicios ambientales, dirigido a las comunidades, ejidos y particulares, ya que es una de las mejores estrategias de conservación de la biodiversidad y por lo tanto de los SE. Es necesario que se implementen acciones a corto plazo, ya que si se logra esta conjunción de metas se podría pensar que a mediano plazo la viabilidad de esta zona, estaría asegurada antes de llegar al punto de inflexión donde ya no es posible restaurar los servicios que los ecosistemas proveen.



Experiencias y oportunidades

Foto: César Hernández Hernández


9



Resumen ejecutivo

Experiencias y oportunidades

Juan Arturo Rivera Rebolledo
María Guadalupe Méndez Cárdenas

Esta sección es una recopilación y análisis de las principales herramientas implementadas en la Ciudad de México, para la conservación de su diversidad biológica.

Ofrece una visión integral sobre las principales herramientas de conservación *in situ* y *ex situ*, y una descripción general de los principales instrumentos internacionales, nacionales y locales implementados en la ciudad, para promover el cuidado de los ecosistemas y la permanencia de los servicios que brindan.

En los apartados de: áreas naturales protegidas (ANP), áreas de valor ambiental (AVA, figura 1), áreas verdes urbanas (AVU), recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura (RFAA), y unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA), se explica ampliamente en qué consisten estas estrategias de conservación y el marco legislativo que las sustenta. También se presenta un diagnóstico que muestra los recursos, las áreas y los ecosistemas protegidos bajo estas figuras y la importancia de las mismas, considerando su impacto sobre la biodiversidad. A lo largo de la sección se incluye un análisis de la situación actual de las estrategias, se identifican algunas áreas de oportunidad y se proponen recomendaciones para mejorar su eficacia.

Toda esta información, sumada a la revisión de los antecedentes históricos de conservación en la ciudad y a los estudios de caso incluidos, brinda elementos clave para conocer las principales herramientas que se desarrollan en esta entidad (algunas de manera exclusiva), para conservar su diversidad biológica. Al proporcionar una visión objetiva y crítica del tema, este material permite reflexionar y vislumbrar nuevas oportunidades para fortalecer la protección, la conservación y el manejo sustentable de la biodiversidad de la Ciudad de México.



Figura 1. Primera sección del bosque de Chapultepec, delegación Miguel Hidalgo. Foto: Agustín Rodríguez.

Rivera-Rebolledo, J.A. y M.G. Méndez-Cárdenas. 2016. Resumen ejecutivo. Experiencias y oportunidades. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, p.261.

Introducción de las experiencias y oportunidades de conservación

Juan Arturo Rivera Rebolledo
Edith Georgina Cabrera Aguirre
Martha Beatriz Vega Rosales
Candys Michelle Montijo Arreguín

Desde tiempos remotos, la especie humana utiliza la biodiversidad para satisfacer sus necesidades y obtener numerosos beneficios de los sistemas naturales en donde habitan (CONABIO 2009). Actualmente, este uso es un pilar en la sociedad moderna, debido a que para el desarrollo, mantenimiento y bienestar de la humanidad, se depende de los ecosistemas y sus servicios, tales como: la fijación de carbono, la obtención de oxígeno, el agua, el combustible y el alimento, así como la regulación del clima, la calidad del aire y el control de la erosión del suelo, entre otros (Almeida *et al.* 2007).

Sin embargo, los ecosistemas naturales y la biodiversidad que soportan se encuentran amenazados por el cambio de uso de suelo, la deforestación, el crecimiento urbano, la extracción de especies silvestres y la introducción de especies exóticas, lo que lleva a los ecosistemas y sus especies a un estado crítico (Almeida *et al.* 2007, CONABIO 2009).

Ante esta creciente problemática, la conservación de los recursos se convirtió en una necesidad de urgente atención, donde determinar claramente el concepto de conservación fue uno de los primeros pasos. En este sentido, a lo largo de los años se establecieron diferentes definiciones, las cuales van de acuerdo con la creación y adopción de políticas en cada país para la conservación de su patrimonio natural (Robles 2009). A nivel internacional, a principios de la década de los ochenta, la primera organización medioambiental del mundo, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y Recursos Naturales (UICN) junto con otras organizaciones, definió la conservación como *la utilización humana de la biosfera para el máximo beneficio sustentable de las generaciones actuales, al mismo tiempo que mantiene el potencial necesario para satisfacer las necesidades y aspiraciones de futuras generaciones* (UICN 1980).

En México, los primeros elementos para el concepto moderno de conservación se plasmaron en el Programa del hombre y la biosfera de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), específicamente en la propuesta elaborada por Halffter (1984). En ésta se marcan los puntos principales para conjuntar el uso sustentable de las especies y los ecosistemas con la conservación, a través del mantenimiento de los procesos biológicos esenciales y los sistemas que sustentan la vida, de los cuales dependen el desarrollo y la supervivencia humana (Halffter 1984, Alcérreca *et al.*, 1988 en Robles 2009). Estos son la formación de suelos, el reciclaje de nutrientes, la producción primaria, la regulación del clima, los ciclos biogeoquímicos y la regulación y el saneamiento del agua, entre otros.

Actualmente, en México el artículo 3º de la Ley General de Vida Silvestre (LGVS) define la conservación como *la protección, cuidado, manejo y mantenimiento de los ecosistemas, los hábitats, las especies y las poblaciones de la vida silvestre dentro o fuera de sus entornos naturales, de manera que se salvaguarden sus condiciones naturales para su permanencia a largo plazo* (SEMARNAT 2000).

Rivera-Rebolledo, J.A., E.G. Cabrera-Aguirre, M.B. Vega-Rosales y C.M. Montijo-Arreguín. 2016. Introducción de las experiencias y oportunidades de conservación. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.262-266.

En la entidad, la Ley Ambiental de Protección a la Tierra en el Distrito Federal en su artículo 5° define la conservación como el *conjunto de políticas, planes, programas, normas y acciones, de detección, rescate, saneamiento y recuperación, destinadas a asegurar que se mantengan las condiciones que hacen posible la evolución o el desarrollo de las especies y de los ecosistemas propios del Distrito Federal.* Esta definición se encuentra homologada a lo contenido en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), la Ley de Aguas Nacionales y la Ley Forestal (SMA 2000).

La biodiversidad y las interacciones dentro de los ecosistemas ofrecen una amplia gama de beneficios a la población (véase la sección Servicios ecosistémicos). Por ello, la conservación de la diversidad biológica se convierte en una responsabilidad y compromiso de toda la humanidad. Las áreas urbanas representan 2% de la superficie terrestre en el planeta, para el año 2050 se estimó una población adicional en las ciudades de tres billones de individuos. Por consecuencia, aproximadamente 50% de la población mundial que vive en las urbes utilizará más de 75% de los recursos totales consumidos a nivel global (CONABIO 2009, UNU-IAS 2010). Por lo tanto, de no adoptar las medidas necesarias, el acelerado crecimiento urbano afectará considerablemente la disponibilidad de bienes y servicios ecosistémicos asociados a la diversidad biológica, tan vitales como la obtención de agua, el oxígeno y el alimento (UN-HABITAT 2010).

En este sentido, se busca que la satisfacción de las necesidades humanas sea compatible con la conservación de los recursos naturales, es decir, sin comprometer el buen funcionamiento de los ecosistemas a largo plazo. Esto es, que la sustentabilidad ecológica sea complementaria a la conservación de la biodiversidad (Koleff y Urquiza 2011); como es el caso del esquema de las unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA), cuyo funcionamiento se encuentra basado en un binomio producción-conservación (SEMARNAT 2011).

Actualmente, la conservación de la biodiversidad se lleva a cabo bajo dos modalidades:

1. Conservación *in situ*. Se caracteriza por desarrollar y llevar a cabo acciones dentro del ecosistema y hábitat natural donde se distribuye un organismo, contemplando de forma integral los ecosistemas y las especies (Hedrick 1996, Lynch 1996, Barret y Schluter 2008).
2. Conservación *ex situ*. Se basa en actividades fuera del hábitat natural de las especies, mediante el uso de recursos, técnicas e infraestructuras especializadas para mantener recursos genéticos en bancos de germoplasma; así como en el manejo de especies de forma confinada, con el objetivo de disminuir el riesgo de extinción o reintroducir y restablecer poblaciones en su hábitat natural (PNUMA 1992, Primack *et al.* 2001, Lascurain *et al.* 2009).

En el cuadro 1 se presentan las principales estrategias de conservación en la Ciudad de México tanto *in situ* como *ex situ*.

La conservación de los recursos naturales es posible a través del aprovechamiento y desarrollo sustentable. En este sentido, en la Ciudad de México se promueve la conservación a través de acciones directas de protección, el manejo y la restauración de los ecosistemas y su biodiversidad, mediante instrumentos como el Programa de Retribución por la Conservación de los Servicios Ambientales en Reservas Ecológicas Comunitarias y Áreas Comunitarias de Conservación Ecológica, el Programa de Reforestación Rural y Reconversión Productiva, el Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014-2020 y el Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal, mismos que se llevan a cabo de forma paralela a las estrategias mencionadas en el cuadro 1 (SMA 2000, Arzuela 2007, GDF 2010, SEDEMA 2013).

No obstante, las acciones directas se deben complementar con acciones indirectas encaminadas al conocimiento, la cultura y la gestión

Cuadro 1. Principales instrumentos de conservación en la Ciudad de México.

Tipo de conservación	Tipo de instrumento	Objetivo de conservación	Ejemplo
In situ	Áreas naturales protegidas (ANP)	Proteger y conservar los ambientes naturales representativos de las regiones biogeográficas y ecosistemas frágiles.	Parque Nacional Desierto de los Leones Zona Sujeta a Conservacón Ecológica Sierra de Santa Catarina
	Áreas verdes urbanas (AVU)	Áreas de esparcimiento y contacto con la naturaleza para los ciudadanos, que contribuyen a la conservación al proveer, entre otros servicios ambientales, sitios de alimentación, protección y refugio para la fauna silvestre.	Parque España Parque México Alameda Central
	Áreas de valor ambiental (AVA)	Áreas verdes que mantienen ciertas características biofísicas y escénicas que les permiten contribuir a mantener la calidad ambiental de la ciudad, pero que han sido modificadas por el se humano y por lo tanto requieren de restauración y protección.	Barranca de Mixcoac Rio Becerra de la Loma Bosque Nativitas
	Recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura (RFAA)	Conservación del material genético de las poblaciones silvestres de los cultivos nativos y tradicionales.	Conservación de las razas de maíz criollo a través del Proyecto de rescate de maíces criollos, transferencia de tecnología y diversificación productiva.
	Sitios RAMSAR	Humedales que por sus características e importancia biológica son incluidos en la Convención RAMSAR; para la conservación y uso sustentable de los mismos y todos los recursos que proveen.	Sistema Lacustre Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco
Ex situ	Unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA)	Predios o instalaciones de carácter privado que operan de conformidad a un plan de manejo aprobado para el aprovechamiento y conservación de alguna(s) especie(s).	Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Animal en el Altiplano (CEIEPAA), de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM Centro de educación ecológica "Desierto de los Leones-Peteretes" Vivero del Jardín Botánico de la UNAM
	Predios o instalaciones que manejan vida silvestre (PIMVS)	Instalaciones que mantienen a distintas especies fuera de su hábitat natural y que no tienen como objetivo principal la reintegración de las mismas a la vida silvestre.	PIMVS de cactáceas y suculentas de Xochimilco Biodiversidad al aire: mariposas del Ajusco medio

Fuente: elaboración propia con base en SMA 2012*a*, SEMARNAT 2013 y RAMSAR 2015.

de la biodiversidad, las cuales influyen en la visión y en las decisiones de las personas e instituciones (CDB 2010). Al respecto, la Ciudad de México participa activamente en la Conferencia de las Partes del Convenio sobre la Diversidad Biológica (COP-CDB), en donde se reconoce la importancia del papel que juegan las autoridades locales en la conservación de la biodiversidad. Asimismo, la Ciudad está adherida al programa acción local para la biodiversidad, coordinado por la Agencia Internacional del medio ambiente para los gobiernos locales ICLEI, uniéndose a una red de más de 40 autoridades locales en el ámbito internacional (SMA 2012*b*) con el objetivo de diseñar e implementar programas de desarrollo sustentable locales que repercutan globalmente.

A nivel local, la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México (SEDEMA) posee estrategias para la difusión de temas en materia ambiental y de biodiversidad. Un ejemplo es el trabajo educativo de la Dirección General de Zoológicos y Vida Silvestre, la cual en coordinación con diferentes sectores de la sociedad, autoridades locales y federales, llevan a cabo exposiciones itinerantes de difusión, además de las actividades educativas que realizan los tres zoológicos de la entidad (SMA 2012*b*).

Lo anterior favorece la conservación de la diversidad biológica y promueve el manejo sustentable en los ambientes urbanos mediante el desarrollo de prácticas de planeación regionales y locales con un enfoque ecosistémico

(CDB 2010). La visión actual de la conservación involucra a los problemas de los ecosistemas y su biodiversidad. Es necesario fomentar el desarrollo socioeconómico de las poblaciones que habitan en el suelo de conservación, a través de la promoción del uso sustentable de los recursos y la protección de los ecosistemas; de tal manera que se generen condiciones de vida dignas para las generaciones presentes y futuras (INE y SEMARNAP 2000).

El momento que se vive es crítico y exige modificar constantemente las necesidades, las metas y los conceptos, con la finalidad de contar con las herramientas que permitan afrontar los nuevos retos para la conservación de las especies. Este proceso debe involucrar de forma activa a los diferentes sectores de la sociedad, en las políticas, los programas y las acciones para el cuidado y el uso sustentable de los recursos, debido a que el futuro de los ecosistemas y su biodiversidad depende de cómo abordemos hoy la creciente problemática (INE y SEMARNAP 2000, Almeida *et al.* 2007, CONABIO 2009).

Referencias

Alcérreca, C., J. Consejo, O. Flores, *et al.* 1988. Pp. 33-34. En: Robles R. 2009. *Las unidades de manejo para la conservación de vida silvestre y el Corredor Biológico Mesoamericano México*. CBM-M/CONABIO. Serie Acciones 2, México.

Almeida, L., M. Nava, A. Ramos, *et al.* 2007. Servicios Ecosistémicos en la Cuenca del Río Magdalena, Distrito Federal, México. *Gaceta Ecológica* SEMARNAT, número especial 84-85:53-64.

Arzuela, A. 2007. El ordenamiento ecológico del territorio en México: génesis y perspectivas. En: <*http://www.institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/Especializacion_Mercados/Documentos_Cursos/Ordenamiento_Ecologico_Territorio-Azuela_Antonio-2007.pdf*>, última consulta: 09 de septiembre de 2015.

Barret, R., y D. Schluter. 2008. Adaptation from standing genetic variation. Department of Zoology and Biodiversity Research Centre, University of British Columbia. En: <*http://salamander.uky.edu/srvoss/508f09/Barrett_etal_09.pdf*>, última consulta: 20 de agosto de 2013.

CDB. Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. 2010. Perspectiva Mundial sobre la Diversidad Biológica 3. Montreal. En: <*https://www.cbd.int/doc/publications/gbo/gbo3-final-es.pdf*>, última consulta: 13 de noviembre de 2013.

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2009. *Capital Natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio.* CONABIO, México.

GDF. Gobierno del Distrito Federal. 2010. Acuerdo por el que se aprueba el programa de Retribución por la Conservación de Servicios Ambientales en Reservas Ecológicas comunitarias y Áreas Comunitarias de Conservación Ecológica. Publicado en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 16 de marzo 2010. Texto vigente.

Halffter, G. 1984. La reserva de la Biosfera: Conservación de la naturaleza para el hombre. *Acta Zoológica Mexicana* (ns) 5:4-48.

Hedrick P.W. 1996. Bottleneck(s) or metapopulation in cheetahs. *Conservation Biology* 10(3):898-9.

INE y SEMARNAP. Instituto Nacional de Ecología y la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 2000. Estrategia Nacional para la Vida Silvestre: Logros y retos para el desarrollo sustentable 1995-2000. En: <*http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/252.pdf*>, última consulta: 11 de enero de 2016.

UICN. International Union for Conservation of Nature. 1980. World Conservation Strategy. *Living Resource Conservation for Sustainable Development.*

Koleff, P. y T. Urquiza-Haas (coords.). 2011. *Planeación para la Conservación de la Biodiversidad Terrestre en México: Retos en un país Megadiverso.* CONABIO/CONANP, México.

Lascurain, M., R. List, L. Barraza, *et al.* 2009. Conservación de especies *ex situ*. Pp. 517-544. En: *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio.* CONABIO, México

Lynch, M.1996. Mutation Accumulation and transfer RNA:molecular evidence for Muller's ratchet in mitochondrial genomes. *Molecular Biology and Evolution* 13:209–211.

PNUMA. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 1992. Convenio sobre la Diversidad Biológica. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. En: <*http://www.cbd.int*>, última consulta: 8 de marzo de 2013.

Primack, R., R. Rozzi, P. Feisinger, *et al*. 2001. *Fundamentos de Conservación Biológica Perspectivas latinoamericanas*. FCE, México.

RAMSAR. The Ramsar Convention on Wetlands. 2015. The List of Wetlands of International Importance. En: <*http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/sitelist_25_june_2015.pdf*>, última consulta: 09 de septiembre de 2015.

Robles, R. 2009. *Las unidades de manejo para la conservación de vida silvestre y el Corredor Biológico Mesoamericano México*. CCBM-M/CONABIO. Serie Acciones 2, México.

SEDEMA. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2013. Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal (PGOEDF). En: <*http://www.sedema.df.gob.mx/sedema/index.php/temas-ambientales/programas-generales/ordenamiento-ecologico*>, última consulta: 10 de septiembre de 2015.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2000. Ley General de Vida Silvestre. Publicada el 3 de julio de 2000 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 26 de enero de 2015.

——. 2011. Sistema de unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (SUMA). En: <*http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/vidasilvestre/Paginas/umas.aspx*>, última consulta: 04 de mayo de 2013.

——. 2013. Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional, especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas (RAMSAR). En: <*http://www.semarnat.gob.mx/temas/agenda-internacional/ramsar*>, última consulta: 28 de abril de 2016.

SMA. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2000. Ley Ambiental de Protección a la Tierra en el Distrito Federal. Publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 13 de enero del 2000. Última reforma 25 de abril de 2013.

——. 2012*a*. Libro Blanco 2006-2012: *Reverdece tu ciudad y gestión de áreas verdes urbanas*. SMA, México.

——. 2012*b*. Libro Blanco 2006-2012: *Conservación y uso sustentable de la biodiversidad del Distrito Federal. Capítulo II: Programas y acciones de conservación* ex situ. SMA, México.

UN-HABITAT. United Nations Human Settlements Programme. 2010. Supporting Local Action for Biodiversity. *The Role of National Governments. United Nations Human Settlements Programme.*

UNU-IAS. United Nations University Institute for the Advanced Study of Sustainability 2010. *Cities, Biodiversity and Governance. Perspectives and Challenges of the Implementation of the Convention of Biological Diversity at the City Level.* United Nations University- Institute of Advanced Studies.

Estudio de caso

Antecedentes históricos de conservación

Edith Georgina Cabrera Aguirre
Juan Arturo Rivera Rebolledo
Candys Michelle Montijo Arreguín

La Ciudad de México, capital del país (Congreso de la Unión 1917) y parte intrínseca de la cuenca de México, es históricamente el principal centro político, económico, social y cultural de la nación mexicana (Ezcurra 1998). Este carácter centralista a lo largo del tiempo produjo que las decisiones e iniciativas instauradas a nivel nacional incidan primeramente en el territorio de esta entidad.

En este contexto, las primeras acciones y los principales acontecimientos históricos del país acerca del uso, conservación de los recursos naturales y del ambiente, así como la mitigación de sus amenazas, surgieron en la Ciudad de México. Por mencionar algunos ejemplos están la creación de la figura de conservación conocida como áreas naturales protegidas (ANP), que tiene sus inicios en 1876 con la protección del Desierto de los Leones (CONANP 2011), o la creación del primer zoológico nacional, el zoológico de Chapultepec "Alfonso L. Herrera" en 1924 (Gual *et al.* 2006).

Con la finalidad de ofrecer un panorama general de la situación actual de los recursos naturales así como un antecedente a los acontecimientos y medidas actuales en materia de conservación, en el cuadro 1 se muestran algunos de los antecedentes históricos relevantes en materia de conservación de los recursos naturales de la ciudad. Sin embargo, en éste no se contemplan las medidas emprendidas a nivel federal ni las iniciativas internacionales, las cuales aunque influyen considerablemente en las acciones llevadas a cabo para conservar la biodiversidad, se desarrollan en el capítulo de Marco Institucional y Normativo.

Análisis

Ante la creciente preocupación por la conservación de los recursos naturales se generaron diversas estrategias a nivel federal y local para mitigar el impacto antropológico y conservar la diversidad biológica y los servicios ecosistémicos de la entidad.

Aproximadamente, desde hace 700 años en la época de la Gran Tenochtitlan hasta el siglo XXI, la entidad ha sido un territorio densamente poblado, por lo que diversos factores antropogénicos propiciaron un enorme deterioro de los ecosistemas y los servicios que brindan, así como pérdida de la biodiversidad.

Los primeros esfuerzos por conservar los recursos naturales en la actual Ciudad de México comenzaron antes de la conquista, durante el siglo XV, cuando Nezahualcóyotl estableció un reglamento de aprovechamiento de los bosques con el objetivo de detener el abuso por parte de los indígenas sobre el recurso forestal; esto constituye una de las primeras políticas de conservación en el país. No obstante, la colonización y el posterior crecimiento demográfico de la entidad, asociado al preponderante interés de desarrollo económico, provocaron una explotación desmedida de los recursos naturales, a pesar de las restricciones impuestas por los subsecuentes gobernantes españoles y mexicanos.

Cabrera-Aguirre, E.G., J.A. Rivera-Rebolledo y C.M. Montijo-Arreguín. 2016. Antecedentes históricos de conservación. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.267-277.

Cuadro 1. Principales acciones históricas relacionadas con la conservación de la vida silvestre en la Ciudad de México.

	Año	Principales acciones de conservación
Siglos XV-XVI	1428	Durante el gobierno del Rey Netzahualcóyotl, considerado como precursor del conservacionismo nacional, se lleva a cabo la reforestación en áreas cercanas al valle de México (Cortés 1963), destacando la plantación de ahuehuetes en lo que ahora es conocido como Parque Nacional Molino de Flores (Melo 2002).
	1429	El Rey Nezahualcóyotl crea una reserva forestal y, junto con otros monarcas de la región, ordenan instaurar parques arbolados, jardines botánicos, aviarios y estanques de peces; además prohíben a los habitantes pescar más peces de los que pueden comer (Simonian 1999). Nezahualcóyotl promovió de manera particular la conservación de los bosques al establecer reglamentos para el aprovechamiento de los recursos forestales (Muñoz-Barret 1992).
	1521	El emperador Moctezuma II (Moctezuma Xocoyotzin) crea el primer zoológico en América y uno de los primeros en el mundo: "La casa de las fieras". Este contaba con una gran cantidad de especies silvestres de América Central alojadas en recintos que simulaban sus hábitats naturales (Vargas 1984, Gual *et al*. 2006).
	1579	El Virrey don Martín Enríquez prohíbe a los pobladores cortar árboles y encender fuego en los bosques cercanos a la Ciudad de México, en la región de Chalco (INE-SEMARNAP 2000).
	1592	El Virrey don Luis de Velasco inaugura el primer parque urbano, ahora conocido como la Alameda Central (INE-SEMARNAP 2000), el cual constituyó, junto con el bosque de Chapultepec, una de las áreas verdes más importantes de la ciudad. Actualmente es considerada un área verde urbana (AVU) que aporta diversos servicios ambientales.
Siglo XIX	1856	Se decreta como reserva forestal al Desierto de Carmelitas, actualmente conocido como Desierto de los Leones (INE-SEMARNAP 2000).
	1870 y 1880	Durante estos años se elabora una serie de informes y publicaciones del gobierno acerca de la importancia de la conservación de los bosques y la función que desempeñan en cuanto al mantenimiento de un ambiente saludable (INE-SEMARNAP 2000).
	1876	El presidente Sebastián Lerdo de Tejada expropia las tierras del Desierto de los Leones debido a la importancia de sus manantiales en el abastecimiento de agua a la Ciudad de México (CONANP 2006, De la Maza 1999), convirtiéndose así en la primer área protegida en México (Peña *et al*. 1998). Sin embargo, la figura legal de las ANP se define hasta 1926, cuando se expide la primera Ley Forestal Nacional (Peña *et al*. 1998).
	1904	Se crea la Junta Central de Bosques correspondiente a la entidad y presidida por Miguel Ángel de Quevedo (Simonian 1999, Castañeda 2006), con el objetivo de gestionar e impulsar acciones para limitar el uso, abuso y destrucción de los bosques, así como para intentar remediar el deterioro de los mismos a fin de garantizar el bienestar de las futuras generaciones (Urquiza 2015).
Siglo XX	1908	Se inauguran los Viveros de Coyoacán, pieza central de un sistema de viveros que producían en ese tiempo alrededor de 2.4 millones de árboles para los programas de reforestación (INE- SEMARNAP 2000, Simonian 1999). Se instaura la primera Escuela Forestal con sede en la Ciudad de México (INE- SEMARNAP 2000), la cual representa el principio para la profesión forestal en el país, (Simonian 1999).
	1909	La Junta Central de Bosques concluye su inventario sobre los bosques del valle de México (INE- SEMARNAP 2000), revelando que aproximadamente 25% de la región se encontraba arbolada (Simonian 1999).
	1910	El presidente Porfirio Díaz establece una zona forestal protegida alrededor del valle de México (INE- SEMARNAP 2000).
	1915	Se creó la Dirección de Estudios Biológicos con sede en la Ciudad de México, teniendo como director al biólogo Alfonso L. Herrera. Ésta fue la primera institución dedicada a la investigación en biología en México, misma que realizó contribuciones significativas al desarrollo de la ciencia biológica en el país, a la vinculación de ésta con la solución de problemas nacionales y a la difusión de la riqueza biológica nacional (Garza *et al*. 1998, INE-SEMARNAP 2000, Cuevas y Ledesma 2006, Retana 2006). A esta dirección le siguió el Instituto de Biología General y Médica, el cual, al decretarse la autonomía universitaria en 1929, se convirtió en el Instituto de Biología de la UNAM, ubicado entonces en el Bosque de Chapultepec (Pérez-Tamayo 2005).

Cuadro 1. Continuación.

	Año	Principales acciones de conservación
	1917	El Desierto de los Leones se convierte en la primer ANP, por decreto del presidente Venustiano Carranza quien destacó la belleza natural de sus paisajes y la importancia histórica de las ruinas (INE- SEMARNAP 2000, Melo 2002, Castañeda 2006, CONANP 2006).
	1919	La Dirección de Estudios Biológicos establece la creación de jardines botánicos en el Parque de Chapultepec, creándose así el jardín botánico del bosque de Chapultepec y la construcción de un invernadero de grandes dimensiones (INE-SEMARNAP 2000, Retana 2006).
	1923	Se inicia la construcción del zoológico de Chapultepec por iniciativa del biólogo Alfonso L. Herrera, quien estaba a cargo de la Dirección de Estudios Biológicos (Garza *et al.* 1998, INE-SEMARNAP 2000, Cuevas y Ledesma 2006). El zoológico abrió sus puertas en 1924 con una colección de 243 animales, con el propósito de recrear el zoológico de Moctezuma II y mostrar especies nativas de México y otras provenientes de distintas partes del mundo. A partir de 1945 lleva por nombre zoológico "Alfonso L. Herrera" en honor a su fundador (Gual *et al.* 2006).
	1936-1940	Durante el mandato del presidente Lázaro Cárdenas se reactiva el establecimiento de áreas protegidas, decretándose la mayoría de los parques nacionales existentes en la actualidad (Soberón *et al.* 1996). En este periodo se declaran 40 parques nacionales, una reserva forestal nacional y una reserva científica (el resto de las categorías de ANP reconocidas en aquel tiempo son: área de protección de flora y fauna, monumento natural, reserva de la biosfera, zona de protección forestal y recursos de fauna silvestre, zona de reserva de aves marinas y fauna silvestre, zona de recursos faunísticos y zona de reserva natural y de aves marinas) (Melo 2002). Entre 1936 y 1938 se decretaron siete parques nacionales de los ocho con que cuenta actualmente la entidad (Cumbres del Ajusco, Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla, Fuentes Brotantes de Tlalpan, El Tepeyac, Cerro de la Estrella, Lomas de Padierna e Histórico de Coyoacán; el Desierto de los Leones ya había sido decretado en 1917), protegiendo una superficie de 5 281 ha (PAOT 2009).
	1947	Durante el gobierno del presidente Miguel Alemán se publica en el Diario Oficial de la Federación el decreto por el que se declara veda forestal total e indefinida de recuperación y de servicio para todos los bosques del Estado de México y de la Ciudad de México pues a pesar de las vedas parciales decretadas con anterioridad, continuaron las explotaciones clandestinas (SAGARPA 1947). Dicha veda fue levantada para el Estado de México en 1970, sin embargo continúa vigente para la entidad (CONAFOR 2014).
	1964	Se inaugura el zoológico de San Juan de Aragón, albergando a 135 especies animales de todo el mundo (Gual *et al.* 2006). Actualmente este zoológico participa en importantes proyectos de conservación de especies en peligro de extinción, como el del lobo gris mexicano (*Canis lupus baileyi*) (SMA 2012*a*).
	1976 y 1978	Ante el acelerado crecimiento demográfico de la Ciudad de México que se registró en las décadas de los años 1970 y 1980, se promulgan en 1976 la Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal y en 1978 el Plan Director de Desarrollo Urbano, los cuales sirvieron de base para elaborar el primer Programa General de Desarrollo Urbano para el Distrito Federal, mismo que establece por primera vez una zonificación pormenorizada de los usos de suelo de la entidad (Cervantes 1988, PAOT 2009, CONAFOR 2014). El gobierno federal crea la Comisión de Coordinación para el Desarrollo Agropecuario (CCDA) con el objetivo de coordinar los esfuerzos institucionales para promover el desarrollo del área rural circundante a la capital. Lo anterior ante las difíciles condiciones de sobrevivencia de los habitantes rurales, derivadas de la imposibilidad de aprovechar los recursos forestales impuesta por la veda forestal, del entubamiento de aguas de ríos y manantiales y de la expropiación de tierras para su posterior urbanización. Más tarde, la CCDA se transforma en la Comisión de Desarrollo Rural para el Distrito Federal (Pensado 2003).
	1982	Se establece en el Programa General de Desarrollo Urbano la zonificación básica del territorio de la ciudad dividiéndose en dos zonas primarias: el área de desarrollo urbano (dividido a su vez en área urbana y área de amortiguamiento) y el área de conservación ecológica (PAOT 2009, CONAFOR 2014).
	1984	Se funda el Parque Ecológico Los Coyotes, para funcionar como Escuela Ecológica Comunitaria, la cual estaba a cargo de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco (UAM-X) e incluía invernaderos, el zoológico, un aviario y lagos artificiales, así como instalaciones recreativas (Gual *et al.* 2006). Después de diversas transformaciones en sus instalaciones y gestión, actualmente constituye lo que es el zoológico Los Coyotes.

Cuadro 1. Continuación.

	Año	Principales acciones de conservación
	1987	Se publica una nueva versión del Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal en el que, mediante el establecimiento de la línea de conservación ecológica (cuya longitud es de 154 km), se redefine la división primaria del territorio entre el área de desarrollo urbano y el área de conservación ecológica (que incluye ahora el área de amortiguamiento) (PAOT 2009, CONAFOR 2014). Se establecen en el programa por primera vez los usos y destinos del suelo con criterios y especificaciones exclusivas para cada área (PAOT 2009 CONAFOR 2014).
	1989	Se crea la Dirección General de Reordenación Urbana y Protección Ecológica, la cual tiene, entre otras funciones, proponer, coordinar y ejecutar las políticas del Departamento del D.F. en materia de protección ecológica (DOF 1989).
	1989	El Departamento del D.F. publica el Plan de Rescate Ecológico de Xochimilco, con el objetivo de revertir la degradación ecológica de la zona chinampera propiciada por la sobreexplotación de los mantos acuíferos, incentivar la producción agrícola y contribuir a la ampliación de espacios verdes y de recreación para la zona. Dicho plan implicó la expropiación de más de mil hectáreas de los ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco para destinarlas al rescate ecológico (GDF 2006*b*, Meza-Aguilar y Moncada 2010), y engloba cuatro aspectos que son: rescate hidráulico, agrícola, arqueológico y cultural (Otto 1999).
	1992	Se decreta ANP a los Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, bajo la categoría de zona sujeta a conservación ecológica. Esta ANP es considerada patrimonio mundial natural y cultural por la UNESCO desde 1987, y desde 2004 la zona lacustre de Xochimilco está inscrita en la Lista de Humedales de Importancia Internacional (GDF 2006*b*, RAMSAR 2007, SMA 2012*b*), siendo uno de los pocos sitios a nivel mundial que son al mismo tiempo sitio RAMSAR y patrimonio cultural y natural de la humanidad.
	1996	Se actualiza y se publica el Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal, en el que se sustituyen los términos "área de desarrollo urbano" y "área de conservación ecológica" por "suelo urbano" y "suelo de conservación", respectivamente, los cuales son incluidos en la Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal de 1996, con el objetivo de constituir una reserva natural, controlar el crecimiento poblacional y limitar la expansión de las superficies urbanas al crecimiento natural de los poblados rurales (PAOT 2009, CONAFOR 2014). Se establece la Comisión Ambiental Metropolitana (que reemplaza a la Comisión para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en la Zona Metropolitana del Valle de México, creada en 1992) mediante un convenio de coordinación entre los gobiernos federal y del Estado de México, el Departamento del D.F. y diversos organismos como Petróleos Mexicanos, la Comisión Federal de Electricidad y Luz y Fuerza del Centro. Esta comisión está destinada a coordinar la planeación y ejecución de acciones en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, en materia de protección al ambiente y de preservación y restauración del equilibrio ecológico (INEGI 1999).
	1997	Se crea el Sistema de unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (SUMA), el cual integra a las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) como una herramienta para aprovechar de manera sustentable los recursos naturales (Gallina-Tessaro *et al.* 2009). Debido a que representan una alternativa productiva rentable y compatible con la conservación, tiempo después comienza el establecimiento de UMA en la entidad.
	1998	Con la publicación de la Ley Orgánica de la Administración Pública del Distrito Federal, se crea la Secretaría del Medio Ambiente (antes SMA, ahora SEDEMA) como la dependencia encargada de la formulación, ejecución y evaluación de la política de la entidad en materia ambiental, así como de preservar los recursos naturales mediante su uso sustentable (GDF 1998).
	2000	Se establece el Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal, el cual representó un avance en la conceptualización de la zonificación y planeación territorial, de tal manera que el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales sea compatible con la conservación de la biodiversidad (Arzuela 2007). Se crean las siguientes unidades administrativas: la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural, la Dirección General de Educación Ambiental, la oficina de la Secretaría del Medio Ambiente y la Unidad de Bosques Urbanos (GDF 2008).

Cuadro 1. Continuación.

	Año	Principales acciones de conservación
Siglo XX	2001	Se adscriben las Direcciones Generales de Gestión Ambiental del Aire y de Regulación y Gestión Ambiental del Agua, Suelo y Residuos (que posteriormente cambian su nombre a Dirección General de Gestión de Calidad del Aire y Dirección General de Regulación Ambiental), así como a nivel Dirección General, la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural y la Unidad de Bosques Urbanos y Educación Ambiental, todas ellas actualmente pertenecientes a la SEDEMA (GDF 2008). Se crea el Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI), encabezado por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), como un mecanismo de coordinación, vinculación e integración de acciones que promuevan el aprovechamiento sustentable de dichos recursos, garantizando la conservación de la riqueza genética del país (Molina 2007). A partir de esta medida se da un mayor impulso al uso de semillas nativas en las actividades agrícolas desarrolladas principalmente en Milpa Alta, Tláhuac y Xochimilco.
	2002	Se crea el instrumento de conservación áreas de valor ambiental (AVA), las cuales son áreas verdes que aún mantienen ciertas características biofísicas y escénicas que les permiten contribuir a mantener la calidad ambiental de la ciudad, pero que han sido modificadas por actividades antropogénicas y que, por lo tanto, requieren de protección y restauración; pudiendo ser bosques urbanos o barrancas urbanas (GDF 2013). Se crea el Sistema de Aguas de la Ciudad de México, con el objetivo de prestar los servicios públicos de suministro de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento de aguas residuales y reutilización (GDF 2008). Se incorpora a la Secretaría del Medio Ambiente la Dirección General de Zoológicos de la Ciudad de México, que posteriormente se llamará Dirección General de Zoológicos y Vida Silvestre (GDF 2008).
	2002-2005	A través de la SMA, implementaron diversas estrategias para conocer, normar y desarrollar las áreas verdes urbanas (espacios públicos ubicados dentro de la ciudad, cuyo elemento principal es la vegetación natural o inducida) (Meza-Aguilar 2010). En el año 2002, el GDF realizó la reforma a la Ley Ambiental del Distrito Federal, con el fin de regular y proteger las áreas verdes, y en la que se propuso un esquema de participación, no sólo del mismo gobierno sino de otras instancias en los programas de desarrollo urbano (Meza-Aguilar 2010). En 2003 se realizó el primer inventario de áreas verdes de la entidad, dando cumplimiento al artículo 88 bis 2 de la Ley Ambiental del Distrito Federal, para servir, junto con la normatividad específica en esta materia, como instrumento de gestión para el diseño y ejecución de política pública de mejoramiento, mantenimiento e incremento de las áreas verdes (Meza-Aguilar 2010). En 2005 se emite en la Gaceta Oficial del Distrito Federal (GODF) la Norma Ambiental para el Distrito Federal (NADF-006-RNAT-2004) para promover el adecuado fomento, mejoramiento y mantenimiento de las áreas verdes públicas (GDF 2005*c*).
	2003	Se establece el Sistema Local de Áreas Naturales Protegidas del D.F. como un instrumento de planeación para la conservación de los recursos naturales de esta entidad, la protección y el mejoramiento de los servicios ambientales, así como para la administración y gestión de las ANP (GDF 2005*a*).
	2005	Se aprueba el Programa de Retribución por la Conservación de Servicios Ambientales para Reservas Ecológicas Comunitarias con el objetivo de asegurar la conservación de los ecosistemas y la permanencia de los servicios ecosistémicos que éstos proporcionan (GDF 2005*b*).
	2006	Se aprueba el Programa de Retribución por la Conservación de Servicios Ambientales para Áreas Comunitarias de Conservación Ecológica (GDF 2006*a*). Dicho programa apoya a las comunidades y núcleos agrarios para realizar acciones de protección y conservación de los ecosistemas.
	2007	Se crea en la SMA la Dirección Ejecutiva de Vigilancia Ambiental, mediante la cual se inspecciona y vigila el cumplimiento de las normas ambientales locales (GDF 2008). Se creó la Agenda Ambiental del D.F. 2007-2012 (SMA 2007*a*) y el Plan verde, los cuales contemplan acciones encaminadas al desarrollo sustentable. Este último fue la ruta que planteó el gobierno a mediano plazo (15 años) y se basó en siete ejes temáticos: 1. aire, 2. agua, 3. residuos sólidos, 4. suelo de conservación, 5. habitabilidad y espacio público, 6. movilidad y transporte y 7. energía y cambio climático (SMA 2007*b*).
	2011	Los gobiernos del Estado de México y de esta entidad, mismos que integran la Comisión Ambiental Metropolitana, desarrollan el Programa para Mejorar la Calidad el Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México (PROAIRE) 2011-2020, con el objetivo de mejorar de manera sostenible la calidad del aire a través de un manejo ecosistémico de dicha zona (SMA-DF Y SMA-EM 2011).

Cuadro 1. Continuación.

	Año	Principales acciones de conservación
	2013-2015	Con el objetivo de promover un desarrollo sustentable del medio ambiente, y realizar una buena gestión de los recursos naturales de la Ciudad de México en el corto, mediano y largo plazo, el gobierno local y la SEDEMA desarrollaron los siguientes programas rectores: El Programa Sectorial Ambiental y de Sustentabilidad 2013-2018, que sirve de instrumento de planeación, coordinación, monitoreo y evaluación, para establecer metas y políticas públicas a lograr mediante la articulación de diferentes entes del gobierno local. El programa se basa en seis ejes: 1) calidad del aire y cambio climático, 2) movilidad sustentable, 3) suelo de conservación y biodiversidad, 4) infraestructura urbana verde, 5) abastecimiento y calidad del agua y 6) educación y comunicación ambiental (SEDEMA 2014*c*, GDF 2014). El Programa Institucional de la Secretaría del Medio Ambiente, el cual está alineado al Programa General de Desarrollo y al Programa Sectorial Ambiental y de Sustentabilidad de la Ciudad de México 2013-2018. Este programa establece una agenda enfocada a seis ejes prioritarios para la protección del entorno ambiental: 1) calidad del aire y cambio climático, 2) suelo de conservación y biodiversidad, 3) programas ambientales, 4) infraestructura urbana verde, 5) educación y comunicación ambiental y 6) movilidad sustentable (GDF 2015). El Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014-2020 y la Estrategia Local de Acción Climática 2014-2020, con el objetivo de integrar, coordinar e impulsar acciones para disminuir los riesgos ambientales, sociales y económicos derivados del cambio climático, a partir de siete ejes estratégicos: 1) transición energética urbana y rural, 2) contención de la mancha urbana, 3) mejoramiento ambiental, 4) mejoramiento sustentable de los recursos naturales y la biodiversidad, 5) construcción de resiliencia, 6) educación y comunicación y 7) investigación y desarrollo (SEDEMA 2014*b* y *c*).

Fuente: elaboración propia

A pesar de que entre el siglo XVI y XVIII se establecieron diversas medidas para intentar detener la pérdida de la cobertura forestal de la ciudad, no existía un reconocimiento del valor biológico de los recursos naturales en la población y en los gobiernos en turno, ya que únicamente se veían en ellos la clave de la prosperidad económica. Muestra de ello es que las primeras acciones en materia de conservación desarrolladas a nivel nacional y en la Ciudad de México, se enfocan a la protección forestal (los recursos maderables tenían un valor económico muy importante); las especies económicamente valiosas fueron las primeras en protegerse, se postergó la implementación de medidas para conservar el resto de la vida silvestre, incluso el agua y el suelo. Es hasta el siglo XIX cuando se advirtió la necesidad de evitar las posibles consecuencias económicas y ecológicas del uso indiscriminado de los recursos naturales.

Los esfuerzos de conservación en la entidad durante los primeros 50 años del siglo XX se enfocaron en la conservación de los bosques a través de la restauración y la protección. En este periodo se decretó una veda forestal total aún vigente en la capital, la cual actualmente obstaculiza el aprovechamiento sustentable de los bosques y el manejo forestal de los mismos para su saneamiento, provocando el desarrollo clandestino de actividades económicas y productivas contrarias a la conservación. Asimismo surgió y se impulsó de manera notable la figura de las ANP como un importante instrumento de conservación mediante el uso controlado y responsable de los recursos naturales.

Para la segunda mitad de este siglo, ante el descontrolado crecimiento de la mancha urbana se realizaron diversos esfuerzos para zonificar el uso de suelo. En el Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal se establece la división primaria entre el área de desarrollo urbano y el área de conservación ecológica, actualmente conocidas como suelo urbano y suelo de conservación (SC).

Durante los últimos años de la década de los noventa y los primeros del siglo XIX se crearon en la ciudad diversas dependencias gubernamentales e instrumentos jurídicos para promover la preservación de los recursos naturales y su aprovechamiento sustentable. Surgieron otras importantes figuras y herra-

mientas de conservación: las UMA, las AVA y diversos programas de apoyo financiero para que las comunidades rurales emprendan acciones de protección en sus tierras ubicadas en el suelo de conservación.

A pesar de todas las acciones que históricamente se desarrollaron en materia ambiental a nivel local, y aquellas federales que en ella han repercutido, la ciudad enfrenta grandes retos para garantizar el mantenimiento de los recursos naturales y la prevalencia de los servicios ecosistémicos. Por ejemplo, las ANP son una valiosa alternativa para la conservación, pero al estar inmersas en la ciudad se ven amenazadas por los cambios de uso de suelo, los incendios (generalmente con motivos agrícolas), el sobrepastoreo, los litigios, la contaminación, la falta de manejo forestal debido a la veda establecida desde 1947 (SAGARPA 1947), el avance de la frontera agrícola, los asentamientos humanos irregulares, la introducción de especies vegetales y animales exóticas, plagas y enfermedades forestales y la poca o nula vigilancia; sin considerar que una parte importante de la vegetación original ha sido sustituida por especies vegetales exóticas.

Ante esta situación, es necesario diseñar estrategias específicas para atender cada problema. Todas las ANP deben contar con una zonificación adecuada y con un programa de manejo que establezca políticas claras y sustentables de protección, restauración y uso de las mismas. Asimismo, se debe garantizar la instrumentación y el cumplimiento de dichos programas. Una situación similar, aunque a diferente escala, es la que enfrentan las AVA.

Específicamente, el SC cuenta con una zonificación y cuyo objetivo es constituir una reserva natural y limitar el crecimiento urbano. Sin embrago, la presión de la mancha urbana sobre el SC no se ha controlado, muestra de ello son los numerosos asentamientos irregulares en zonas protegidas y el cambio de uso de suelo. Es necesario considerar que el SC está integrado por poblados rurales, ejidos y comunidades (principal forma de tenencia de la tierra) y los asentamientos que se encuentran en el límite de la zona urbana. Esta zona tiene las más baja densidad poblacional de la ciudad, no obstante, las inadecuadas actividades agropecuarias, el crecimiento urbano y la falta de alternativas productivas sustentables, provocan la pérdida de los ecosistemas naturales y un rezago socioeconómico de las comunidades que ahí habitan. Por ello, es importante promover sistemas agropecuarios alternativos y otras formas de aprovechamiento sustentable, así como de fortalecer los programas sociales que fomentan y remuneran las acciones de conservación (Programa de Retribución por la Conservación de Servicios Ambientales y Programa de Fondos de Apoyo para la Conservación y Restauración de los Ecosistemas a través de la Participación Social).

Una alternativa efectiva para el desarrollo socioeconómico de las poblaciones rurales y urbanas mediante el uso racional, ordenado y planificado de los recursos naturales, son las UMA. Se requiere mayor vigilancia y control de la operación de las unidades, así como la difusión de esta alternativa productiva entre las comunidades, para incrementar su eficiencia como estrategia de conservación.

Una parte de las acciones que históricamente se realizaron en la entidad con relación a la conservación ecológica, se relaciona con la generación de conocimiento acerca del estado y el uso de la biodiversidad. El establecimiento de instituciones académicas y científicas (como las principales instituciones de educación superior y la CONABIO, y el trabajo que ellas realizan en materia ambiental y de recursos naturales, hacen posible que los sectores gubernamental, académico y social cuenten con valiosa información para las actividades que a cada uno interesan y competen.

En las últimas dos décadas, la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) generó diferentes instrumentos con la finalidad de establecer metas y objetivos en el corto, mediano y largo plazo en materia de conservación de la biodiversidad, aprovechamiento sustentable

y mejoramiento ambiental. Ejemplos vigentes de estos instrumentos son el Programa Sectorial Ambiental y de Sustentabilidad 2013-2018, el Programa Institucional de la Secretaría del Medio Ambiente 2013-2018 y el Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014-2020, en los cuales se establecieron ejes rectores o líneas estratégicas que comprenden acciones transversales entre diferentes dependencias gubernamentales. Esto tiene el objetivo de transformar a la ciudad en una entidad comprometida con la protección del medio ambiente y con la conservación de los recursos naturales mediante su uso controlado y responsable, de tal manera que se revierta la crisis ambiental actual y garantice la permanencia de los servicios ecosistémicos. La adecuada vinculación y alineación de los diversos instrumentos desarrollados por el gobierno local en materia ambiental, así como la coordinación entre las dependencias gubernamentales en torno a las políticas ambientales vigentes, harán posible la transversalidad de acciones orientadas hacia un desarrollo socioeconómico sustentable compatible con la conservación de la biodiversidad.

Conclusión

La Ciudad de México es un lugar privilegiado en términos de biodiversidad. Su favorable condición biogeográfica influyó para que gradualmente se convirtiera en un territorio densamente poblado, en el que diversos factores antropogénicos provocaron la pérdida acelerada de la biodiversidad y el deterioro de los servicios ecosistémicos. Sin embargo, esta ciudad también es un punto estratégico en el sentido socioeconómico y político, por lo que a lo largo del tiempo, y ante la creciente preocupación por la conservación de los recursos naturales, se realizaron numerosas acciones e implementaron diversas estrategias a nivel local, con el objetivo de mitigar el impacto antropológico y conservar la diversidad biológica de la entidad.

Es evidente que el preponderante interés de desarrollo económico sobre la valoración biológica de los recursos naturales, provoca daños irreversibles a los ecosistemas naturales; y que las políticas prohibicionistas en materia de manejo y aprovechamiento de los recursos naturales contravienen a la conservación de los mismos. Por ello es indispensable, el establecimiento de instrumentos y figuras de conservación que promuevan el uso ordenado y sustentable de la biodiversidad como una alternativa de desarrollo socioeconómico..

Instrumentos como las ANP, el Programa General de Desarrollo Urbano de la Ciudad de México, las UMA, las AVA, los programas de apoyo financiero para que las comunidades rurales emprendan acciones de conservación en sus tierras y la legislación ambiental, entre otros, requieren ser evaluados en cuanto a su impacto real sobre el estado de la biodiversidad. A partir de esta evaluación, será posible fortalecer dichos instrumentos con base en las necesidades actuales y en el conocimiento científico, y así incorporar eficazmente el tema ambiental a las políticas públicas.

La historia de la conservación en la Ciudad de México y en el país, deja de manifiesto que sólo la sinergia y el trabajo coordinado de la sociedad civil, del sector académico y de los gobiernos federal y local, permitirá frenar el deterioro ambiental actual.

Referencias

Azuela, A., M. A. Cancino y C. Contreras. 2007. *El Ordenamiento Ecológico del Territorio: génesis y perspectivas*. SEMARNAT. México.

Castañeda, J. 2006. Las áreas naturales protegidas de México. De su origen precoz a su consolidación tardía. *Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales de la Universidad de Barcelona* vol. X, 218(13).

Cervantes, E. 1988. El desarrollo de la Ciudad de México. Omnia. *Revista de la Coordinación de Estudios de Posgrado* UNAM. En: <*http://www.posgrado.unam.mx/publicaciones/ant_omnia/11/*>, última consulta: 10 de enero de 2016.

CONAFOR. Comisión Nacional Forestal. 2014. Análisis jurídico de los instrumentos normativos aplicables a la protección de los bosques, ecosistemas forestales y arbolado del Distrito Federal. En: <*http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/8/5566Analisis%20Juridico%20Forestal.pdf*>, última visita: 10 de enero de 2016.

CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2006. Programa de Conservación y Manejo, Parque Nacional Desierto de los Leones. En: <*http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/descarga.html?cv_pub=554&tipo_file=pdf&filename=554*>, última consulta: 22 de junio del 2012.

———. 2011. México. En: <*http://www.conanp.gob.mx/quienes_somos/historia.php*>, última consulta: 14 de abril de 2014.

Congreso de la Unión. 1917. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Publicada el 5 de febrero de 1917 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada 7 de julio de 2014.

Cortés, H. 1963. *Cartas y documentos*. M. Hernández (eds.). Porrúa. México.

Cuevas, C. e I. Ledesma. 2006. Alfonso L. Herrera: controversia y debates durante el inicio de la biología en México. *Historia Mexicana* 15(3):973-1013.

De la Maza, R. 1999. Una historia de las áreas naturales protegidas de México. *Gaceta Ecológica* INE/SEMARNAP 51:15-34.

Ezcurra, E. 1998. *De las Chinampas a la Megalópolis. El medio ambiente en la Cuenca de México*. Secretaría de Educación Pública. México.

Gallina-Tessaro, S., A. Hernández-Huerta, C. Delfín-Alfonso y A. González-Gallina. 2009. Unidades para la conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre en México (UMA). Retos para su correcto funcionamiento. *Investigación ambiental* 1(2):143-152.

GDF. Gobierno del Distrito Federal. 1998. Ley Orgánica de la Administración Pública del Distrito Federal. Publicada el 29 de diciembre de 1998 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

———. 2005*a*. Acuerdo por el que se establece el Sistema Local de Áreas Naturales Protegidas. Publicada el 19 de agosto de 2005 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

———. 2005*b*. Acuerdo por el que se aprueba el Programa de Retribución por la Conservación de Servicios Ambientales para Reservas Ecológicas Comunitarias. Publicada el 19 de octubre de 2005 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

———. 2005*c*. Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-006-RNAT-2004, que establece los requisitos, criterios, lineamientos y especificaciones técnicas que deben cumplir las autoridades, personas físicas o morales que realicen actividades de fomento, mejoramiento y mantenimiento de áreas verdes públicas. Publicada el 18 de noviembre de 2005 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

———. 2006*a*. Acuerdo por el que se aprueba el Programa de Retribución por la Conservación de Servicios Ambientales para Áreas Comunitarias de Conservación Ecológica. Publicada el 8 de diciembre de 2006 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

———. 2006*b*. Acuerdo por el que se aprueba el Programa de manejo del Área Natural Protegida con carácter de Zona de Conservación Ecológica “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”. Publicada el 11 de enero de 2006 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

———. 2008. Manual administrativo de la Secretaría del Medio Ambiente en su parte de organización y listados de procedimientos. Publicada el 12 de junio de 2008 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

——. 2013. Ley Ambiental del Distrito Federal. Publicada el 19 de septiembre de 2013 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

——. 2014. Acuerdo por el que se aprueba el Programa Sectorial Ambiental y de Sustentabilidad 2013-2018. Publicada el 15 de octubre de 2014 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

——. 2015. Aviso por el cual se da a conocer el Programa Institucional de la Secretaría del Medio Ambiente 2013-2018. Publicada el 9 de noviembre de 2015 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

Garza J., C. Vásquez y D. Mayén. 1998. El Zoológico de Chapultepec. En: *El Zoológico de Chapultepec desde el punto de vista psicosocial*. L. Reidl (coords.). UNAM/GDF, México.

Gual, F., A. Rivera, R. Tinajero, *et al.* 2006. *Centros de Conservación del Siglo XXI, Los Zoológicos de la Ciudad de México.* Memorias 2001-2006. Dirección General de Zoológicos de la Ciudad de México, México.

Hunter, M. y J. Gibbs. 2007. *Fundamentals of Conservation Biology.* Blackwell Publishing. Reino Unido.

INE- SEMARNAP. Instituto Nacional de Ecología y la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 2000. *Estrategia nacional para la vida silvestre logros y retos par a el desarrollo sustentable* 1995-2000. México.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1999. Estadísticas del medio ambiente del Distrito Federal y zona metropolitana, 1999. INEGI/Departamento del Distrito Federal. En: *<http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/sociodemografico/medioambdf/1999/EMADFZM99_6.pdf>*, última consulta: 10 de enero de 2016.

Koleff, P. y T. Urquiza-Haas. 2011. Conservación de la diversidad terrestre: planeación, refleciones y lecciones aprendidas. Pp. 11-19. En: *Planeación para la Conservación de la Biodiversidad Terrestre en México: Retos en un país Megadiverso.* P. Koleff y T. Urquiza-Haas (coord). CONABIO/CONANP, México.

Martínez, L. 2008. *Árboles y áreas verdes urbanas de la Ciudad de México y su zona metropolitana*. Fundación Xochitla, A.C., México.

Melo, C. 2002. Áreas naturales protegidas en México en el siglo XX. Temas selectos de geografía de México. Instituto de Geografía. UNAM. En: *http://bidi.unam.mx/libroe_2007/0932770/06_c02.pdf*, última consulta: 4 de enero de 2016.

Meza-Aguilar, M. y J. Moncada. 2010. Las áreas verdes de la ciudad de México. Un reto actual. Scripta Nova. *Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, vol. XIV, 331(56).

Molina, E. 2007. Recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura. En: *Alimentación, nutrición, valores culturales y sobreanía alimentaria*. A. Ruiz, (coord). Grupo Parlamentario del PRD en la LX Legislatura de la Cámara de Diputados. Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM. En: *<http://biblio.juridicas.unam.mx/libros/6/2504/5.pdf>*, última consulta: 7 de enero de 2016.

Muñoz-Barret, J. 1992. Los recursos naturales y su protección jurídica en México. En: *La industria petrolera ante la regulación jurídico-ecológica en México*. J. Muñoz-Barret, G. Sánchez, S. Vega, *et al.* Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM/PEMEX, México. En: *<http://biblio.juridicas.unam.mx/libros/2/924/2.pdf>*, última consulta: 4 de enero de 2016.

Otto, E. 1999. Conservación del ajolote (*Ambistoma mexicanum*) mediante su cultivo y siembra en el Parque Ecológico de Xochimilco. Patronato del Parque Ecológico de Xochimilco AC. Informe final SNIB-CONABIO Proyecto No. J087. México. En: *<http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfJ087.pdf>*, última consulta: 10 de enero de 2016.

PAOT. Procuraduría de Ordenamiento Territorial del Distrito Federal. 2009. Estudio sobre la superficie ocupada en Áreas Naturales Protegidas del Distrito Federal. México. En: *<http://centro.paot.org.mx/documentos/paot/estudios/EOT-03-2009.pdf>*, última consulta: 7 de enero de 2016.

Pensado, M. 2003. Las políticas públicas y las áreas rurales en el Distrito Federal. *Sociológica* 5:73-98.

Peña, A., L. Neyra y E. Loa. 1998. Conservación. En: *La diversidad biológica de México: Estudio de País.* CONABIO, México. En: *<http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/divBiolMexEPais7.pdf>*, última consulta: 6 de enero de 2016.

Pérez-Tamayo, R. 2005. *Historia general de la ciencia en México en el siglo XX*. FCE, México.

RAMSAR. 2007. Ramsar Sites Information Service. En: *<http://ramsar.wetlands.org/Database/Searchforsites/tabid/765/Default.aspx>*, última consulta: 30 de enero de 2013.

Retana, O. 2006. Raíces históricas de las colecciones zoológicas en México y del Museo Nacional de Historia Natural. En: *Colecciones Mastozoológicas de México*. C. Lorenzo, E. Espinoza, M. Briones, *et al.* Instituto de Biología, UNAM, México. En: <*http://www.mastozoologiamexicana.org/books/Colecciones_mastozoologicas.pdf*>, última consulta: 10 de enero de 2016.

SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. 1947. Decreto por el cual se declara veda total indefinida de recuperación y de servicio para todos los bosques del Estado de México y del Distrito Federal. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 29 de marzo de 1947. Texto vigente.

SMA. Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2007*a*. Agenda ambiental de la Ciudad de México. Programa de Medio Ambiente 2007-2012. En: <*http://centro.paot.org.mx/documentos/sma/agenda_amb_ciudad_mexico.pdf*>, última consulta: 11 de enero de 2016.

——. 2007*b*. Plan verde de la Ciudad de México. En: <*http://www.om.df.gob.mx/programas/plan_verde/plan_verde_vlarga.pdf*>, última consulta: 11 de enero de 2016.

——. 2012*a*. *Libro Blanco: Zoológicos de la Ciudad de México*. México.

——. 2012b. *Libro Blanco: Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad del Distrito Federal*. México.

SMA y SMA-EM. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal y la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México. 2011. Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2011-2020. En: <*http://www.sedema.df.gob.mx/flippingbook/proaire2011-2020/*>, última consulta: 27 de enero de 2016.

SEDEMA. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2014*a*. *Estrategia Local de Acción Climática de la Ciudad de México* 2014-2020. GDF/Centro Mario Molina, México.

——. 2014*b*. Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014-2020. GDF/Centro Mario Molina, México.

——. 2014c. Programa Sectorial Ambiental y de Sustentabilidad 2013-2018. En: <*http://www.sedema.df.gob.mx/sedema/index.php/programa-sectorial*>, última consulta: 8 de enero de 2016.

SEMARNAT. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2005. Compendio de estadísticas ambientales 2005. En: <*http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/sitio_wf/Index.htm*>, última consulta: 22 de enero de 2013.

Simonian, L. 1999. La defensa de la tierra del jaguar. Una historia de la conservación en México. CONABIO. En: <*http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/118/cap4.html*>, última consulta: 7 de enero de 2016.

Soberón, J., E. Ezcurra y J. Larson 1996. Áreas protegidas y conservación in situ de la biodiversidad en México. En: <*http://www.paot.org.mx/centro/ine-semarnat/gacetas/GE41.pdf*>, última consulta: 20 de enero de 2013.

Urquiza, J. 2015. Miguel Ángel de Quevedo y el proyecto de conservación hidrológica forestal de las cuencas nacionales de la primera mitad del siglo XX, 1900-1940. *Historia Caribe* 26(10):212-255. Enero-Junio. En: <*http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93740426009*>, última consulta: 7 de enero de 2016.

Vargas, F. 1984. *Parques nacionales de México y reservas equivalentes. Pasado, presente y futuro. Colección: Los Grandes Problemas Nacionales.* Serie: Los Bosques de México. Instituto de Investigaciones Económicas/UNAM, México.



Estrategias de conservación de la biodiversidad

María Guadalupe Méndez Cárdenas
Juan Arturo Rivera Rebolledo
José Francisco Bernal Stoopen
Candys Michelle Montijo Arreguín
Martha Beatríz Vega Rosales

Introducción

La conservación de la biodiversidad se desarrolla en dos formas básicas: dentro del hábitat natural (conservación *in situ*) y fuera de éste (conservación *ex situ*) (Lascurain *et al.* 2009).

La conservación *in situ* se caracteriza por realizar las actividades en el ecosistema donde se distribuye un organismo (Hedrick 1996, Lynch 1996, Barret y Schluter 2008). Ésta tiene como objetivo principal mantener la diversidad de las especies, sus hábitats y las interrelaciones que existen entre estos componentes, debido a que contempla de manera integral a los ecosistemas y los hábitats naturales (Spellerberg y Hardes 1992). Asimismo, busca recuperar y mantener poblaciones viables, genéticamente saludables y estables en vida libre, características que se relacionan directamente con la capacidad de respuesta al medio ambiente que presentan las especies y con la variabilidad genética (variación del material genético de una población o especie causada principalmente por mutaciones y la reproducción sexual) (Hedrick 1996, Lynch 1996, Barret y Schluter 2008). De esta manera, este tipo de conservación permite la adaptación de las poblaciones silvestres a hábitats heterogéneos, manteniendo los procesos evolutivos naturales (selección natural y sexual, migración, éxito reproductivo y variabilidad genética, entre otros) (Crandall *et al.* 2000, Moritz 2002).

La conservación *ex situ* se define como el mantenimiento de los componentes de la diversidad biológica fuera de sus hábitats naturales. En ésta se aplican una amplia gama de recursos, técnicas e infraestructuras especializadas para contribuir a la recuperación y sobrevivencia de individuos o poblaciones fuera de su hábitat, con el propósito de reducir el riesgo de extinción de especies y en algunos casos restablecer poblaciones en su hábitat natural (PNUMA 1992, Seal 1993, Lascurain *et al.* 2009). Es así que la conservación *ex situ* es un apoyo para el mantenimiento de poblaciones viables y recursos genéticos de especies amenazadas en la naturaleza, principalmente cuando la amenaza a la supervivencia de las especies es tan severa que no existe esperanza de su mantenimiento en condiciones *in situ* (Primack *et al.* 2001).

En esta contribución se describen brevemente algunas de las estrategias que contribuyen a la conservación de los ecosistemas naturales de esta entidad y de las especies silvestres en su hábitat natural.

Estrategias de conservación *in situ*

Como resultado de la creciente problemática y las constantes amenazas bajo las cuales se encuentra inmersa la riqueza biológica del país y de la Ciudad de México, el tema ambiental es un punto clave a nivel federal y local, debido a que la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad son herramientas imprescindibles para lograr un desarrollo económico y social que sea

Méndez-Cárdenas, M.G., J.A. Rivera-Rebolledo, J.F. Bernal-Stoopen, C.M. Montijo-Arreguín y M.B. Vega-Rosales. 2016. Estrategias de conservación de la biodiversidad. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.279-284.

ambientalmente responsable (CONABIO 2000). Ante esta situación, en México se implementan diversas medidas encaminadas a la protección de la biodiversidad, y en la ciudad se desarrollan otros instrumentos específicos a la problemática ambiental local.

Áreas naturales protegidas (ANP)

Son la mejor herramienta con que cuenta México para conservar la biodiversidad y los servicios ambientales que proporcionan a la población (Bezaury-Creel *et al.* 2009), ya que confieren a los ecosistemas naturales un estatus de protección legal. Actualmente, en el país existen 177 áreas registradas bajo este denominación (CONANP 2015); mientras que en la entidad se cuenta con 26 047.01 ha (SMA 2012), protegidas bajo la modalidad de ANP, dentro de las cuales podemos mencionar: los parques nacionales Cumbres del Ajusco y Desierto de los Leones, la Zona Sujeta a Conservación Ecológica Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, la Zona de Conservación Ecológica Sierra de Santa Catarina, el Parque Urbano Bosque de Tlalpan y la Zona Ecológica y Cultural Cerro de la Estrella, entre otras.

Declaración de sitios RAMSAR

La Zona Sujeta a Conservación Ecológica *Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco* es un ANP de la Ciudad de México que fue declarada como sitio RAMSAR bajo la denominación *Sistema Lacustre Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco*, a través de la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional, también llamada Convención RAMSAR (SEMARNAT 2013, RAMSAR 2014). Ésta es una estrategia a nivel internacional que busca detener la creciente pérdida y degradación de los humedales, promoviendo la conservación y uso sustentable de los mismos y de los recursos que proveen. Para que las 2 657 ha de humedales que comprende dicho sistema lacustre fueran declaradas sitio RAMSAR, fue necesario el cumplimiento de nueve criterios establecidos por la Convención, ocho de los cuales se refieren a la biodiversidad que soportan (RAMSAR 2014). Con esta declaración, el gobierno mexicano reconoce el valor ecológico de los humedales a nivel local, nacional y para la humanidad, y está obligado a tomar las medidas necesarias para asegurar el mantenimiento de los componentes, procesos y servicios ecosistémicos de dicho sistema.

Programa de Retribución por la Conservación de Servicios Ambientales en Reservas Ecológicas Comunitarias y Áreas Comunitarias de Conservación Ecológica

En la ciudad de México existen otras dos categorías de ANP: las reservas ecológicas comunitarias (REC) y las áreas comunitarias de conservación ecológica (ACCE). Estás se caracterizan por ser superficies que conservan sus condiciones naturales y que son establecidas por ejidos y comunidades en terrenos de su propiedad para destinarlas a la preservación, protección y restauración de la biodiversidad y del equilibrio ecológico, sin modificar el régimen de propiedad (GDF 2000*a*). Para incluir a los ejidos y comunidades en acciones de conservación y vigilancia de la biodiversidad, el Programa de Retribución por la Conservación de Servicios Ambientales, operado por la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México (SEDEMA), otorga retribuciones económicas a los núcleos agrarios que se incorporan al programa estableciendo REC o ACCE, y que lleven a cabo actividades de protección, restauración y mejoramiento de los servicios ecosistémicos (GDF 2005 y 2006).

Unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA)

El manejo y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales se considera una estrategia eficaz para la conservación de la biodiversi-

dad. En México se establecieron UMA, las cuales promueven esquemas alternativos de producción adecuados al cuidado del ambiente, mediante un binomio producción-conservación en el que está permitido el aprovechamiento controlado y responsable de ejemplares, productos y subproductos de la vida silvestre, de tal forma que no se comprometen los recursos naturales (INE-SEMARNAP 2000, SEMARNAT 2005 y 2011, INECC 2007).

Las UMA se clasifican en intensivas (manejo de flora y fauna fuera de su hábitat natural) y extensivas, de acuerdo con el tipo de manejo que llevan a cabo. Las de tipo extensivo representan una estrategia de conservación *ex situ*, debido a que se caracterizan por manejar ejemplares que se desplazan libremente por el terreno, y que se alimentan y cobijan bajo las condiciones naturales. Un ejemplo de unidad extensiva es el caso de la UMA *Tlapuente*, ubicada en la delegación Tlalpan.

Recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura

Una de las actividades productivas más importantes que realizan las comunidades en el país y en el suelo de conservación de la entidad es la agricultura tradicional de alimentos como, el nopal, el amaranto, las verdolagas, la avena forrajera y el maíz (Lépiz y Rodríguez 2006). Con esta práctica se conserva la diversidad genética al mantener las variedades locales. En este sentido, se desarrollaron estrategias para la protección y la utilización sostenible de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura (RFAA)[1] en condiciones *in situ* (en territorios cultivados) y *ex situ* (en bancos de semillas), a fin de conservar la riqueza genética del país (Gámez 2010).

A nivel local, a través del Programa de Desarrollo Agropecuario y Rural en la Ciudad de México (línea de acción de cultivos nativos), se establecieron acciones para la protección de los recursos fitogenéticos, como el proyecto de rescate de maíces criollos, transferencia de tecnología y diversificación productiva. Asimismo, se emitió una declaratoria y un programa de protección de las razas de maíz del altiplano mexicano para la entidad (GDF 2009*a* y 2009*b*), forjando así un primer paso en la conservación de los RFAA para los pobladores de la ciudad.

Programa general de ordenamiento ecológico

En paralelo a las estrategias antes descritas existen otras figuras de carácter local, que contribuyen a la conservación de los ecosistemas naturales de la entidad, como lo es el Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal (PGOEDF 2000). Este ordenamiento es una de las herramientas que más impacto ha tenido sobre la gestión y conservación de la biodiversidad, debido a que constituye un instrumento de política ambiental dirigido a la planeación territorial con un enfoque ambiental, lo que hace posible el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y la conservación de la biodiversidad (Arzuela 2007).

Una característica del PGOEDF es que divide a la ciudad en dos grandes regiones: suelo urbano y suelo de conservación. En este último, se busca regular las actividades humanas y de conservación de la biodiversidad e intenta contrarrestar el crecimiento urbano desordenado. Para lograrlo cuenta con 18 estrategias generales, 32 estrategias particulares y 77 criterios ecológicos. Asimismo, aporta planos de zonificación de las áreas bajo la jurisdicción de la SEDEMA y el concentrado de políticas públicas y lineamientos para el uso sustentable del suelo (Arzuela 2007, SEDEMA 2013).

[1] Los RFAA representan la diversidad del material genético contenido en las variedades de cultivos tradicionales, cultivos modernos (sembrados por los agricultores) y las especies de plantas silvestres relacionadas genéticamente con las variedades cultivadas, así como aquellas que pueden ser utilizadas para obtener alimentos, forrajes, medicamentos, fibras, madera, energía, etc. (SAGARPA 2012, Klooster 2000).

Lamentablemente, hoy en día el PGOEDF perdió vigencia, por lo que en años relativamente recientes (2008, 2009 y 2010) se procuró su actualización. Sin embargo, ésta aún no se concluye debido a la complejidad y nivel de detalle del programa, así como a la falta de compatibilidad con los programas de desarrollo urbano (Arzuela 2007).

Áreas de valor ambiental (AVA) y áreas verdes urbanas (AVU)

En la Ley de Protección a la Tierra en la Ciudad de México se establecen las AVA y las AVU como figuras que contribuyen a la conservación *in situ* de la biodiversidad.

Las AVA son espacios públicos en donde los ambientes originales fueron modificados o alterados por actividades antropogénicas y requieren ser restaurados o preservados debido a las características que presentan y favorecen la calidad ambiental de la ciudad (GDF 2000*b*). Estas áreas contemplan 28 barrancas urbanas (como las de Tecamachalco, Texcalatlaco y Vista Hermosa, entre otras) y cinco bosques urbanos (Chapultepec, San Juan de Aragón, Nativitas, cerro Zacatépetl y San Luis Tlaxialtemanco).

Las AVU son espacios verdes como parques, jardines, plazas, plazuelas, y glorietas, que contribuyen a la conservación al proveer sitios de alimentación, protección y refugio para la fauna silvestre (GDF 2000*b*). Además, éstas sirven como fuente de germoplasma (cualquier material mediante el cual es posible generar nuevos individuos, Gámez 2010).

Estrategias de conservación *ex situ*

De manera general, la conservación *ex situ* de las especies silvestres se lleva a cabo a través de centros de manejo de flora, como son los herbarios, los jardines botánicos, las colecciones botánicas, los viveros e invernaderos; así como en centros de manejo de fauna en cautiverio, entre los que se encuentran los zoológicos, los herpetarios, los acuarios y delfinarios, los mariposarios, los insectarios, los criaderos y los museos vivientes (McNeely *et al*. 1990, Lascuráin. *et al*. 2009).

Estos centros con frecuencia representan sitios en los que, además de que los visitantes pueden apreciar a las especies silvestres, se desarrollan actividades relacionadas con la educación ambiental, la conservación de especies en peligro de extinción mediante su reproducción en cautiverio, y la generación de conocimientos a través de la investigación científica relacionada con la biología y conducta de las especies, la genética, la prevención de enfermedades y las técnicas de fertilización o reproducción *in vitro* (Primack *et al*. 2001, Lascurain *et al*. 2009, SMA 2012).

Los centros de conservación *ex situ* tienen la capacidad de trabajar desde un amplio espectro de actividades para la conservación, como las mencionadas en el párrafo anterior, hasta para el apoyo *in situ* de las especies, las poblaciones y sus hábitats, realizando así una conservación integral de la biodiversidad (WAZA 2005).

La Ley General de Vida Silvestre clasifica estos centros en UMA intensivas y predios o instalaciones que manejan vida silvestre de manera confinada fuera de su hábitat natural (PIMVS) (SEMARNAT 2000). En la entidad, bajo el carácter de UMA intensiva se encuentran el herpetario de la Facultad de Ciencias y el vivero del Jardín Botánico, ambos pertenecientes a la UNAM; así como los tres zoológicos de la Ciudad de México: Chapultepec, San Juan de Aragón y Los Coyotes, los cuales pertenecen a la Dirección General de Zoológicos y Vida Silvestre (DGZVS) de la SEDEMA.

Al respecto, cabe destacar el trabajo de los tres zoológicos como centros de conservación *ex situ*, que en conjunto albergan aproximadamente 293 especies, de las cuales 153 son mexicanas y 76 (49.6%) se encuentran protegidas por la NOM-059 (SEMARNAT 2010). Asimismo, la DGZVS desarrolla y participa en programas para fomentar la investigación multidisciplinaria en

materia de biodiversidad, y lograr la recuperación y conservación de especies prioritarias tales como el gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*), el conejo teporingo o zacatuche (*Romerolagus diazi*), el ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*), el cóndor de California (*Gymnogyps californianus*), el lobo mexicano (*Canis lupus baileyi*) y el borrego cimarrón (*Ovis canadensis*), a través de actividades de manejo y reproducción en cautiverio que impacten positivamente la conservación de las poblaciones silvestres.

Referencias

Arzuela, A. 2007. *El ordenamiento ecológico del territorio en México: génesis y perspectivas*. En: <*http://www.institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/Especializacion_Mercados/Documentos_Cursos/Ordenamiento_Ecologico_Territorio-Azuela_Antonio-2007.pdf*>, última consulta: 09 de septiembre de 2015.

Barret, R. y D. Schluter. 2008. Adaptation from standing genetic variation. Department of Zoology and Biodiversity Research Centre, University of British Columbia. En: <*http://salamander.uky.edu/srvoss/508f09/Barrett_etal_09.pdf*>, última consulta: 20 de agosto de 2013.

Bezaury-Creel, J., D. Gutiérrez Carbonell, J. Remolina, *et al*. 2009. Áreas naturales protegidas y desarrollo social en México. Pp. 385-431. En: *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO, México.

CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2015. Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas. En: <*http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/sinap.php.*>, última consulta: 1 de diciembre de 2015.

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2000. *Estrategia nacional sobre biodiversidad de México*. CONABIO, México.

Crandall, K.A., O.R. Bininda-Emonds, M. Mace y R. Wayne. 2000. Considering evolutionary processes in conservation biology. *Trends in Ecology and Evolution* 15(7):290–295

Gámez, M.R. 2010. Conservación de Germoplasma. En: <*www.uv.mx/personal/mgamez/docencia/metodos-de-conservacion-de-germoplasma*>, última consulta: enero de 2013.

GDF. Gobierno del Distrito Federal. 2000*a*. Ley Ambiental de Protección a la Tierra en el Distrito Federal. Publicada el 13 de enero del 2000 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

——. 2000*b*. Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal 2000-2003. Documento en línea en <*http://paot.org.mx/centro/programas/pgoedf.pdf*> última consulta: 10 de septiembre de 2015.

——. 2005. Acuerdo por el que se aprueba el Programa de Retribución por la Conservación de Servicios Ambientales para Reservas Ecológicas Comunitarias. Publicada el 19 de octubre de 2005 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

——. 2006. Acuerdo por el que se aprueba el Programa de Retribución por la Conservación de Servicios Ambientales para Áreas Comunitarias de Conservación Ecológica. Publicada el 8 de diciembre de 2006 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

——. 2009*a*. Declaratoria de Protección de las razas de maíz del altiplano de México cultivadas y producidas en suelo de conservación del Distrito Federal. Publicada en 25 de febrero de 2009 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

——. 2009*b*. Programa de protección de las razas de maíz del altiplano mexicano para el Distrito Federal. Publicado el 29 de octubre de 2009 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

Hedrick, P.W. 1996. Bottleneck(s) or metapopulation in cheetahs. *Conservation Biology* 10(3):898-9.

INE y SEMARNAP. Instituto Nacional de Ecología y la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 2000. Estrategia Nacional para la Vida Silvestre: Logros y retos para el desarrollo sustentable 1995-2000. En: <*http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/252.pdf*>, última consulta: 11 de enero de 2016.

INECC. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 2007. Sistema de unidades para la conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre. En: <*http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/279/cap42.html*>, última consulta: 16 de agosto de 2015.

Klooster, D. 2000. Institutional choice, community, and struggle: a case study of forest co-management in Mexico. *World Development* 28(1):1-20

Lascurain, M., R. List, L. Barraza, *et al.* 2009. Conservación de especies *ex situ*. Pp. 517-544. En: *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO, México.

Lépiz, I.R. y E. Rodríguez Guzmán. 2006. Los recursos fitogenéticos de México Pp. 13-29. En: *Recursos Fitogenéticos de México para la Alimentación y la Agricultura: Informe Nacional* 2006. M. Molina y L. Córdova (eds.). SAGARPA/Alimentación-Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, México.

Lynch, M. 1996. Mutation Accumulation and transfer RNA: molecular evidence for Muller's ratchet in mitochondrial genomes. *Molecular Biology and Evolution* 13: 209–211.

McNeely, J., R. Miller, W. Reid, *et al.* 1990. *Conserving the World´s Biological Diversity*. IUCN. The Word bank, Washington, D.C.

Moritz, C. 2002. Strategies to protect biological diversity and the evolutionary processes that sustain it. *Systematic Biology* 51(2):238-241.

PNUMA. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 1992. *Convenio sobre la Diversidad Biológica. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. En: <*http://www.cbd.int*>, última consulta: 8 de marzo de 2013.

Primack, R., R. Rozzi, P. Feisinger, *et al.* 2001. *Fundamentos de Conservación Biológica Perspectivas latinoamericanas*. FCE, México.

RAMSAR. 2014. The RAMSAR Convention. En: <*http://www.ramsar.org/es*>, última consulta: 28 de enero de 2016.

SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2012. Programa de Apoyo a la Inversión en Equipamiento e Infraestructura. En: <*http://snics.sagarpa.gob.mx/rfaa/Documents/EJERCICIO_%202012.pdf*>, última consulta: 11 de mayo de 2016.

Seal, U.S. 1993. Intensive technology in the care of *ex situ* populations of vanishing species. Pp. 289-302. En: *Biodiversity*. E. Wilson y F. Peter. National Academy Press. Washington, DC.

SMA. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2012. *Libro Blanco: Zoológicos de la Ciudad de México., cap. I: Zoológicos de la Ciudad de México: Centros de Educación Ambiental, Conservación de Especies en Peligro y Conocimiento Científico*. SMA, México.

SEDEMA. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2013. Programa de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal (PGOEDF). En: <*http://www.sedema.df.gob.mx/sedema/index.php/temas-ambientales/programas-generales/ordenamiento-ecologico*>, última consulta: 10 de septiembre de 2015.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2000. Ley General de Vida Silvestre. Publicada el 3 de junio del 2000 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma el 26 de enero de 2015.

——. 2005. Dirección General de Vida Silvestre. México. 2005. En: <*http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/05_aprovechamiento/recuadros/c_rec1_05.htm*> última consulta: 18 de mayo de 2013.

——. 2011. Sistema de unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (SUMA). En: <*http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/vidasilvestre/Paginas/umas.aspx*>, última consulta: 04 de mayo de 2013.

——. 2013. Convención sobre los humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas (RAMSAR). En: <*http://www.semarnat.gob.mx/temas/agenda-internacional/ramsar*>, última consulta: 09 de septiembre de 2015.

Spellerberg, I. y S. Hardes. 1992. *Biological Conservation (Biology in Focus)*. Cambridge University Press.

WAZA. Asociación Mundial de Zoos y Acuarios. 2005. Construyendo un Futuro para la Fauna Salvaje. Estrategia Mundial de los Zoos y Acuarios para la Conservación. En: <*http://www.waza.org/files/webcontent/documents/WZACS_ES.pdf*>, última consulta: 20 agosto 2012.

Áreas naturales protegidas

María Guadalupe Méndez Cárdenas
Alejandra Verde Medina
Sergio Alejandro Méndez Cárdenas

Introducción

Las áreas naturales protegidas (ANP) se definen como las porciones terrestres o acuáticas del territorio nacional representativas de los diversos ecosistemas, en donde el ambiente original en esencia no está del todo alterado por la actividad del ser humano y que producen beneficios ecológicos, los cuales son cada vez más reconocidos y valorados. Por estas características las ANP se consideran una de las estrategias de conservación *in situ* más significativa (CONANP 2012*a*).

Estas zonas generan importantes y diversos servicios ambientales, como la protección de cuencas, la captación de agua, la protección contra erosión, el mantenimiento de la biodiversidad y el control de sedimentos. Asimismo, son áreas de importancia cultural, arqueológica, histórica, artística y turística (SEDUE 1988).

Las ANP tienen por objetivo proteger y conservar los ambientes naturales representativos de las diferentes regiones biogeográficas y ecológicas, y de los ecosistemas más frágiles y sus funciones; así como salvaguardar la diversidad genética de las especies silvestres, en particular aquellas que están en peligro de extinción, amenazadas o que se encuentran sujetas a protección especial. Con lo anteriore se debe asegurar la conservación y el aprovechamiento sustentable de los ecosistemas, sus elementos y funciones (SEDUE 1988).

Estas áreas proporcionan un campo benéfico para el desarrollo de investigación científica, el estudio de los ecosistemas y su equilibrio. Además, se promueve el rescate, la divulgación de los conocimientos y las prácticas tradicionales, fomentando el desarrollo de tecnologías alternativas que permitan la conservación de la biodiversidad y su aprovechamiento sustentable (SEDUE 1988).

En México, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) a través de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), es la autoridad encargada de las ANP, las cuales se encuentran sujetas a al régimen previsto en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) (SEDUE 1988). Esta legislación expone la creación del sistema nacional de áreas naturales protegidas (SINANP), que es una herramienta que tiene como propósito incluir las áreas que por su biodiversidad y características ecológicas se consideran de especial relevancia para el país (CONANP 2012*b*).

Además del régimen marcado en la ley, una de las condiciones de las ANP es contar con un programa de manejo integral de conservación, que involucre a las comunidades y donde se plasmen acciones en el corto, mediano y largo plazo. Estos programas fungen como instrumentos que regulan los objetivos, las políticas, las estrategias, las zonas y las actividades relativas a la conservación, protección, aprovechamiento e investigación en estas áreas y tienen como propósito cumplir con el

Méndez-Cárdenas, M.G., A. Verde-Medina y S.A. Méndez C. 2016. Áreas naturales protegidas. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.285-294.

compromiso de consolidar el sistema local de ANP (GDF 2005*a*).

Por lo general, en las ANP se evitan, restringen o regulan, las actividades antropogénicas que pongan en riesgo los recursos naturales y los procesos evolutivos que los originan. Esto se determina de acuerdo a lo estipulado en la LGEEPA, en su reglamento, los programas de manejo y los programas de ordenamiento ecológico (Benavides-Mendoza *et al.* 2010).

En la Ciudad de México, la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) a través de la Dirección General de la Comisión de Recursos Naturales (DG-CORENA), es la entidad encargada de aplicar programas dirigidos a: regular, promover, fomentar, coordinar y ejecutar estudios y acciones en materia de protección, desarrollo, restauración y conservación de los ecosistemas, suelo, agua y otros recursos naturales en el suelo de conservación (SC) y las ANP de la entidad (GDF 2007). Para el desarrollo de estas actividades la DG-CORENA cuenta con cuatro centros regionales en la entidad, y a través de la dirección de estos centros coordina y planea la ejecución de dichas acciones.

La Ley Ambiental de Protección a la Tierra (GDF 2000) en su artículo 92, marca seis categorías para las ANP: 1) zonas de conservación ecológicas (ZCE); 2) zonas de protección hidrológica y ecológica (ZPHE); 3) zonas ecológicas y culturales (ZCE); 4) refugios de vida silvestre (RVS); 5) zonas de protección especial (ZCE) y 6) reservas ecológicas comunitarias (REC).

Durante la administración 2007-2012 se llevaron a cabo las declaratorias de reservas ecológicas comunitarias (REC) y de la figura de áreas comunitarias de conservación ecológica (ACCE). Esta última no se incluye en la clasificación antes mencionada, pero son zonas sujetas a un régimen especial de protección,similar las REC. Ambas áreas se establecieron por acuerdo del ejecutivo local con los ejidos y comunidades, en terrenos de su propiedad, como categorías de ANP. Su función es preservar, proteger, restaurar la biodiversidad y los servicios ambientales, en aquellas regiones, de propiedad comunal o ejidal, que aún conservan sus condiciones naturales, sin modificar el régimen de propiedad de dichos terrenos (CORENA 2009, SMA 2012).

Pese a que las declaratorias se realizaron durante el periodo antes mencionado, fue en el año 2005 cuando la SMA (ahora SEDEMA), diseñó el programa de retribución por la conservación de servicios ambientales, para REC y en 2006 para ACCE (GDF 2005*b*, 2006). Este programa apoya a los núcleos agrarios para realizar acciones de protección y conservación de los ecosistemas que ahí se encuentran. Sin embargo, en el programa de ordenación de la zona metropolitana del valle de México (POZMVM) (PUEC y UNAM 2011) se menciona que las ACCE no se consideran una categoría de ANP (CORENA 2009, SMA 2012).

Situación de las ANP

En México existen 177 ANP lo que representa 12.9% del territorio nacional (25 millones 628 239 ha incluido bajo este régimen de protección (CONANP 2015). En el 2012 la Ciudad de México tenía 26 047.01 ha (SMA 2012), para el 2015 el valor amentó a 26 689.81 ha; es decir 0.1 % de la superficie nacional de ANP.

En este contexto, en el 2009 la CORENA reportó un total de 25 ANP en la entidad, que suman una extensión total 25 649.72 ha, no obstante en la página de la CORENA en donde se presentan los datos del 2009, se muestran sólo 24 ANP, debido a que no se incluye la ANP federal del Corredor Biológico Chichinautzin (COBIO). Asimismo, la suma correcta de la superficie es de 25 065.72 ha, sin incluir las 584 ha del Parque Nacional Histórico de Coyoacán (actualmente 39.77 ha que corresponden a los viveros de Coyoacán) y las 302 ha de COBIO (PAOT 2009, CONANP 2015).

Hasta el 2012, en la ciudad y la zona conurbada se contabilizaban 24 ANP en 10 delegaciones (SMA 2012) con una superficie total

decretada de 26 047.01 ha[1]. Para el 2015 existen registradas 26 ANP en la entidad, con una superficie que cuentan con una superficie total decretada de 26 689.81 ha, y que representa 30.5% de suelo de conservación (elaboración propia), éste con una extensión de 87 310 ha (CORENADER y SAGARPA 2005).

Con respecto a lo que reporta la CORENA (2009), la superficie de ANP al 2012 se incrementó en 397.29 ha y en el 2015 se incrementaron otras 642.08 ha, pero solo se publicó un nuevo programa de manejo. Actualmente, se cuenta con diez programas, tres nuevas ANP decretadas (San Miguel Ajusco, Los Encinos y La Loma) que acumulan un total de 1 278.33 ha. Asimismo, en el análisis que se hace en esta contribución no se tomaron en cuenta el parque histórico de Coyoacán (por su desincorporación), la REC de San Andrés Totoltepec (debido a que no esta decretada; SMA 2012), ni a la ACCE de Santiago Tepalcatlalpan, aunque esta última tiene un decreto del 2013. No obstante, la REC de San Andrés Totoltepec cuenta con una propuesta de dos polígonos uno de 121.45 ha y otro de 24.75 que suman las 146.20, pero no se ha logrado decretar.

Diagnóstico

Existen inconsistencias y modificaciones en la información reportada sobre las superficies que se reportan de las áreas y decretos, con respecto a los datos de la CORENA (2009), la PAOT (2009) y la SMA (2012).

La PAOT (2009) reporta 18 ANP, de las 24 que se presentan en CORENA (2009) (cuadro 1). El parque de Coyoacán presenta inconsistencias en las áreas reportadas: para la PAOT son 626 ha, para la CORENA 584 ha. Asimismo, sucede con la Sierra Santa Catarina (ZSCE) con 576.33 ha de acuerdo a la PAOT, 528 ha en CORENA, lo cual se atribuye a la existencia de un decreto modificatorio; lo mismo ocurre con Sierra de Guadalupe, y con los Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco (cuadro 1).

Situación actual de los parques nacionales (PN)

Los ocho PN decretados en los años treinta, se vieron afectados por el crecimiento urbano y por el vacío legal, debido a su desincorporación del SINAP, lo cual los pone en un alto riesgo de ser urbanizados. De acuerdo al Consejo Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CNANP) seis PN no cumplen con los criterios establecidos en el reglamento de la LGEEPA en materia de ANP y son: Desierto de los Leones, Fuentes Brotantes de Tlalpan, El Tepeyac, Cerro de la Estrella, Lomas de Padierna e Histórico de Coyoacán. En el 2012, el Desierto de los Leones aun se incluía en el SINAP. Excluyendo a los seis parques desincorporados del SINAP, la superficie restante de PN es de 1 256 ha (se perderían 5 273.76 ha). Lo cual modificaría el número de ANP a 21 con una superficie total de 21 416.01 ha.

El PN Desierto de los Leones es el único que cuenta con plan de manejo, a pesar de no ser parte del SINAP, como consecuencia de un problema jurídico-administrativo y por no cumplir con los criterios establecidos en el reglamento de LGEEPA. Dicho problema inició con la firma de un convenio en marzo de 1999 entre el GDF, SEDEMA y SEMARNAT, el cual tenía el propósito de que el GDF asumiera la administración de los parques: Desierto de los Leones, Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla, y Cumbres del Ajusco; así como la recategorización de los PN Lomas de Padierna, Cerro de la Estrella, Fuentes Brotantes de Tlalpan y El Tepeyac (inciso XXVI, SEMARNAP 1999). Sin embargo, estos cuatro quedaron pendientes de abrogación, cuando de forma simultánea se tendría que haber dado la emisión de un decreto por parte del GDF, constituyéndolos en ANP de competencia de la entidad, bajo la categoría de parques urbanos o de zonas de conservación ecológica (ZCE).

[1] El Parque Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla, además de encontrarse en la delegación Cuajimalpa se extiende a dos municipios del Estado de México, dichas hectáreas dentro de los dos municipios no se incluyen en este conteo.

Cuadro 1. Áreas naturales protegidas.

ANP	Fecha de Decreto	Delegación	Superficie (ha)					Categoría		Programa de Manejo
			Decretos	PAOT 2009	CORENA 2009	SMA 2012	Revisión 2015	Federal*	Local	
Cumbres del Ajusco[1]	19/05/47	Tlalpan	920	920	920	920	920	PN	PN	No
San Miguel Ajusco	16/11/10	Tlalpan	1175.99			1175.99	1175.99		REC	No
Fuentes Brotantes de Tlalpan[2]	28/09/36	Tlalpan	129	129	129	129	21.55	PN (ni)	PN	No
Parque Ecológico de la Ciudad de México	28/06/89	Tlalpan	727.61	727.61	727.61	727.61	727.61		ZSCE	25/12/89
Ecoguardas	29/11/06	Tlalpan	150.54	132.63	132.63	132.63	132.63		ZCE	No
Bosque de Tlalpan	24/10/1997 17/06/2011	Tlalpan	262.8 252.86	252.80	252.86	252.86	252.86		PU/ ZEC	05/06/2009 20/06/2011
San Miguel Topilejo	26/06/07	Tlalpan	6 000.29	6000.29	6000.29	6000.29	6000.29		REC	No
San Andrés Totoltepec	En proceso**	Tlalpan	Pendiente		146.20		146.20		REC	No
COBIO-Chichinautzin[3]	30/11/88	Tlalpan	37 302.24		"302.00"		"168.51"	ZPFF		No
Los encinos	01/12/09	Tlalpan	25.01			25.01	25.01		ZPHE	No
San Nicolás Totolapan	29/11/06	Tlalpan y La M. Contreras	1 984.70	1984.70	1984.70	1984.70	1984.70		REC	No
Lomas de Padierna	22/04/38	La Magdalena Contreras	1 161.21***	670.00	670.00	670.00	1161.21	PN (ni)	PN	No
San Bernabé Ocotepec	21/06/10	La Magdalena Contreras	240.38		240.38	240.38	240.38		REC	No
La Loma	20/04/10	Á. Obregón	77.33			77.33	77.33		ZCE	21/05/12
Desierto de los Leones	27/11/17	Á. Obregón y Cuajimalpa	1 529.00	1529.00	1529.00	1529.00	1529.00	PN (ni)	PN	05/06/06
Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla[4]	18/09/36	Cuajimalpa	1 889.96	"1760" 336.00	336.00	336.00	336.00	PN	PN	No
Cerro de la Estrella[5]	02/08/38	Iztapalapa	1 183.32	1100.00	1100.00	1100.00	1062.00		PN	No
Cerro de la Estrella	30/05/91	Iztapalapa	143.14				"143.14"	PN (ni)	ZSCE	
Cerro de la Estrella	02/11/05	Iztapalapa	121.77		121.77	121.77	121.77		ZEC	16/04/07
Sierra de Santa Catarina	03,28/11/1994 21/08/2003	Iztapalapa y Tláhuac	576.33 528.00	576.33	528.00	528.00	528.00		ZSCE	19/08/05
Sierra de Santa Catarina[6]	12/10/1995 29/12/1995 21/08/2003	Iztapalapa y Tláhuac	306.18 220.55		220.55	220.55	220.55		ZCE	19/08/05
El Tepeyac	18/02/37	Gustavo A. Madero		1500.00	1500.00	1500.00	1500.00		PN	No
Sierra de Guadalupe	29/05/1990 20/08/2002	Gustavo A. Madero	687.41 633.68	687.41	633.68	633.68	633.68	PN (ni)	ZSCE	02/12/03
La Armella	09/06/06	Gustavo A. Madero	193.38	193.38	193.38	193.38	193.38		ZCE	08/12/06

Cuadro 1. Continuación

ANP	Fecha de Decreto	Delegación	Superficie (ha)					Categoría		Programa de Manejo
			Decretos	PAOT 2009	CORENA 2009	SMA 2012	Revisión 2015	Federal*	Local	
Histórico de Coyoacán	26/09/38	Coyoacán		626.00	584.00		"39.76"***		PN	No
Reserva Ecológica del Pedregal de San Angel[7]	01/10/83	Coyoacán	124.5				"237.5"	PN (ni)	RE	No
Bosques de las Lomas	08/10/94	Miguel Hidalgo	26.4	26.4	26.40	26.4	26.4		ZSCE	No
Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco	07,11/05/1992 04,08/12/2006	Xochimilco	2 657.08 2 522.43	2 657	2 522	2 522	2 522		ZSCE	11/01/06
Santiago Tepalcatlalpan	13/09/13	Xochimilco y Tlalpan	150.43		150.43		150.43		ACCE	No
Milpa Alta	21/06/10	Milpa Alta	5 000.41		5 000.41	5 000.00	5 000.41		ACCE	No
Total (ha)				20 048.55	25 649.72	26 047.01	26 689.81			
Total ANP				18	24	24	26			10

*Publicados en el Diario Oficial de la Federación.
**No se ha publicado pero la propuesta son dos polígonos uno de 121.45 ha y otro de 24.75 que suman las 146.20.
***Dato tomado de la CONANP y corroborado con sistemas de información geográfica (elaboración propia).
[1]El decreto es del 23/09/1936 y se recategorizó el 19/05/1947.
[2]Existe una propuesta aún no publicada en donde solo quedan 21.55 ha.
[3]El decreto incluye 37,302.24 ha, en el 2009 se reportaban 302 para la entidad correspondiente a Tlalpan. Actualmente sólo se encuentran 168.51 ha
[4]El decreto incluye 1 889.96 ha, de las cuales 336 corresponden a la Ciudad de México.
[5]Según la PAOT 2009, las 121.77 ha del decreto del 2005 estan incluidas en las 1 100 del decreto federal, quedando como PN 1 062 ha. En el decreto de 2005 se señalan dos polígonos uno de 143.14 (ZSCE) y otro de 121.77 (ZEC), es decir que quedan 21.37 ha fuera, que se encuentra en el PPDU-SSC 15 septiembre de 2000 y que fue modificado el 5 de junio de 2014.
[6]El 12 de octubre de 1995 se expropian 85.93 y 109.39 ha. El 26 de enero 1996 se decretan 110.85 ha, sumando un total de 306.18 ha. En el decreto de 2003 se excluyen 85.63 ha.
[7]Reserva Ecológica de la UNAM no se incluye en ninguna categoria de ANP. Bajo la LGEEPA y bajo fundamentos de la Ley Orgánica de la UNAM y acuerdo del Rector (Lot Helgueras, 2008; García-Barrios 2014).
PN= Parque Nacional; ZPFF=Zona Protectora Fauna y Flora; PU= Parque Urbano (Área verde urbana); ZSCE= Zona Sujeta a Conservación Ecológica; ZCE=Zona de Conservación Ecológica, ZEC= Zona Ecológica Cultural; REC= Reserva Ecológica Comunitaria, ACCE= Área Comunitaria de Conservación Ecológica; ZPHE= Zona de Protección Hidrológica y Ecológica.
Los valores entre comillas (" "), corresponden a datos inconsistentes. (NI)= no incorporados al SINAP.
Fuente: elaboración propia con información de CORENA 2009, PAOT 2009, SMA 2012, e información de los autores.

Para este procedimiento sólo se hicieron actas de entrega recepción, en donde no se estipularon las atribuciones legales, ni los recursos suficientes para contar con un administrador, ni con un plan de manejo, por lo que las áreas quedaron sujetas a prácticas ilegales como: la explotación y extracción maderera, los incendios provocados y los cambios de uso de suelo ilegal.

De acuerdo con la CONAFOR (2006), el acuerdo se cumplió en lo corresponde a la transferencia de la administración en los PN: Desierto de los Leones, Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla, y Cumbres del Ajusco, pero no en lo relativo a la re-categorización de los cuatro PN restantes, por la presencia de limitaciones de carácter social y legal. Los PN Lomas de Padierna, Cerro de la Estrella, Fuentes Brotantes de Tlalpan y El Tepeyac se siguen reportando bajo la administración de la CONANP, con excepción de Fuentes Brotantes que también la administra la SEDEMA y la delegación Tlalpan (CONAFOR 2006).

Representatividad de las categorías y sus planes de manejo

En el periodo de 2009-2015 (cuadro 2), la categoría mejor representada fue la reserva ecológica comunitaria (REC) con un incremento de 3.13 (de 8 371.57 ha paso a 9 547.56 ha), y con el nuevo decreto de San Miguel Ajusco como REC. En lo que respecta a San Andrés Totoltepec, en el 2009 estaba en proceso para ser decretado. Desde el 2015 ambas REC están decretadas y cuentan con plan de manejo. La inclusión de San Miguel Ajusco contribuyó con 12 325 ha a la superficie de las REC.

La siguiente categoría con mayor superficie es la de parques nacionales (PN) con 26.3 % en 2009, la cual disminuyó 1.9% en 2015 quedando fuera el PN histórico de Coyoacán. Las dos siguientes categorías más representadas son las áreas comunitarias de conservación ecológica (ACCE), que no cuentan con programas de manejo, y cinco zonas sujetas a conservación ecológica (ZSCE), de las cuales cuatro poseen programa de manejo. Sin embargo, en las REC como en las ACCE su importancia radica en las condiciones de conservación de sus ecosistemas o en la presencia de biodiversidad, y especialmente en el proceso de recarga de agua pluvial que ocurre en sus superficies, como el caso de San Miguel Topilejo y Milpa Alta que suman 11 000 ha, con las que además se protegen las dos zonas más importantes de distribución del zacatuche.

Por último, las ANP con menos superficie son: la zona de conservación ecológica (ZCE), con programas de manejo para dos de las cuatro áreas, la zona ecológica cultural (ZCE) con un programa de manejo para su única área y la zona de protección hidrológica y ecológica (ZPHE), sin plan de manejo. Fuera de las categorías locales de ANP están la zona de protección de flora y fauna (ZPFF: ANP federal, sin programa de manejo) y la reserva ecológica del Pedregal de San Ángel (cuadro 1)

Superficie por delegación

Las delegaciones Tlalpan, Milpa Alta y Xochimilco, acumulan 63.9% de la superficie total de las ANP. Tlalpan con el mayor porcentaje de superficie decretada (35.2%) conserva nueve ANP que representan seis diferentes categorías, en cambio Milpa Alta (18.7%) conserva sólo una ACCE y Xochimilco (9.4%) conserva una ANP única en su tipo por ser una zona de humedales y chinampas (cuadro 3).

El cambio de uso de suelo y el deterioro acelerado del suelo de conservación (SC) en

Cuadro 2. ANP por tipo de zonificación, comparativo 2009 y 2012.

Categoría de manejo	ANP 2009	Programa de manejo	Superficie (ha)	%	ANP 2015	Programa de manejo	Superficie (ha)	%
Reserva ecológica comunitaria (REC)	4	0	83 71.57	32.64	5	0	9 547.56	35.77
Parques nacionales (PN)*	8	1	6 768.00	26.39	7	1	6 529.76	24.47
Áreas comunitarias de conservación ecológica (ACCE)	2	0	5 150.84	20.08	2	0	5 150.84	19.30
Zona sujeta a conservación ecológica (ZSCE)	5	4	4 438.12	17.30	5	4	4 438.12	16.63
Zona de conservación ecológica (ZCE)	3	2	546.56	2.13	4	3	623.89	2.34
Zona ecológica cultural (ZEC)	2	2	374.76	1.46	2	2	374.76	1.40
Zona de protección hidrológica y ecológica (ZPHE)	0	0	0.00	0.00	1	0	25.01	0.09
Total	24	9	25 649.85	100	26	10	26 689.94	100

Fuente: elaboración propia con información de CORENA 2009, SMA 2012.

estas tres delegaciones, tiene mayor impacto que en el resto, debido a que concentra la mayor superficie del SC y se distribuyen especies prioritarias y endémicas como el zacatuche y el ajolote.

En las delegaciones Iztapalapa y Tláhuac se registran decretos dobles para la misma ANP, como Cerro de la Estrella donde las 1 183 ha decretadas en el año de 1938 como PN, se redujeron a 1 062 ha, y las 121.77 ha decretadas en el 2005 se reclasificaron como ZCE. Según la PAOT (2009), las 121.77 ha del decreto local del 31 de mayo de 1991, se suman a las 1 100 ha del decreto federal quedando así en 1 062 ha como PN. En el decreto de 2005 se señalan dos polígonos uno de 143.14 ha (ZSCE) y otro de 121.77ha (ZEC), es decir 21.37 ha quedaron fuera.

El otro caso es sierra Santa Catarina con dos decretos, uno en 1994 como ZSCE y otro en 1995 con tres polígonos, clasificados en 2003 como ZCE. El 12 de octubre de 1995 se expropiaron 85.93 y 109.39 ha. El 26 de enero de 1996 se decretaron 110.85 ha, sumando un total de 306.18 ha. En el decreto de 2003 se excluyeron 85.63 ha y las 220.55 ha restantes quedaron establecidas como ZCE.

Impacto

Las ANP más protegidas se encuentran en el sur de la Ciudad de México, en las partes menos accesibles y con mayor elevación. De acuerdo con el análisis de foto interpretación realizado por la CORENA, de las 24 ANP, 10 presentan alteraciones; cuatro de ellas son PN (lo cual coincide con lo reportado por la POZMVM), otras son cuatro de las cinco ZSCE, así como la ZCE (Sierra de Santa Catarina) y la ZCE (Cerro de la Estrella). En total se contabiliza una pérdida de 2 341.74 ha, 2 196.04 ha en PN (94%) y el resto se distribuye en las demás categorías, desde 1.2% en los Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, hasta 95.4 % en Lomas de Padierna con un porcentaje promedio de 30.8%.

De acuerdo con el POZMVM (PUEC y UNAM 2011) la pérdida de hectáreas sucediedió

Cuadro 3. Superficie decretada para las ANP por delegación.

Delegación	ANP 2015	Superficie decretada (ha)	Superficie 2015 (%)	Federal	Local	Programa de manejo
Tlalpan	9	9402.14	35.23	1 PN , 1 PN(ni)	3 REC,1 ZEC, 1 ZSCE, 1 ZCE, 1 ZPHE	2
Milpa Alta	1	5000.00	18.73		1 ACCE	0
Xochimilco	1	2522.43	9.45		1 ZSCE	1
Gustavo A. Madero	3	2327.06	8.72	1 PN(ni)	1 ZSCE, 1 ZCE	2
Tlalpan y La M. Contreras	1	1984.70	7.44		1 REC	0
Cuajimlpa y Á. Obregón	1	1529.00	5.73	1 PN(ni)		1
La Magdalena Contreras	2	1401.59	5.25	1 PN(ni)	1 REC	0
Iztapalapa	2	1183.77	4.44	1 PN(ni)	1 ZEC	1
Iztapalapa y Tláhuac	2	748.55	2.80		1 ZSCE, 1 ZEC	2
Cuajimalpa	1	336.00	1.26	1 PN		0
Xochimilco y Tlalpan	1	150.43	0.56		1 ACCE	0
Álvaro Obregón	1	77.33	0.29		1 ZCE	1
Miguel Hidalgo	1	26.4	0.10		1 ZSCE	0
Total	26	26689.4	100.00	7	19	10

PN= Parque Nacional; ZPFF=Zona Protectora Fauna y Flora; PU= Parque Urbano (Área verde urbana); ZSCE= Zona Sujeta a Conservación Ecológica; ZCE=Zona de Conservación Ecológica, ZEC= Zona Ecológica Cultural; REC= Reserva Ecológica Comunitaria, ACCE= Área Comunitaria de Conservación Ecológica; ZPHE= Zona de Protección Hidrológica y Ecológica; (ni)=no incorporado al SINAP
Fuente: elaboración propia con información de CORENA 2009, PAOT 2009, SMA 2012.

principalmente en cuatro de los PN: Cerro de la Estrella (929 ha, esta cifra no coincide con los cálculos de la dirección de ANP de la CORENA, de sólo 31.62 ha), Tepeyac (1423 ha), Fuentes Brotantes (107 ha) y Lomas de Padierna (637 ha) sumando un total de 3 096 ha perdidas, es decir un porcentaje de pérdida promedio del 89.3%.

Al trabajar con GPS (sistema de posisionameinto global) se encontraron diferencias entre los decretos y las áreas poligonales revisadas con sistemas de información geográfica (SIG). La Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (SEDUVI) revisa las poligonales y hace correcciones o en su caso modificaciones que aumentan o disminuyen la superficie con respecto a lo publicado en el decreto. En decretos más recientes normalmente no existe dicha variación.

Un dato curioso es que de las ZSCE, Bosque de las Lomas es la única área que no tiene plan de manejo y además no ha visto disminuida su superficie, incluso según los análisis de los polígonos, ésta pasa de 26.40 a 30.99 ha haciendo el ajuste poligonal; las otras cuatro han perdido un total de 145.7 ha.

Conclusión y recomendaciones

Contar con un programa de manejo que involucre a las comunidades, e integre y plantee acciones a desarrollar en el corto, mediano y largo plazo, es condición fundamental para consolidar el manejo y la conservación de un ANP. Estas acciones permitirán enfrentar el compromiso de consolidar el sistema local de ANP (GDF 2005*a*).

Cabe destacar que en el plan rector se establece la necesidad de constituir un consejo asesor y un director para cada ANP (GDF 2010). Sin embargo, sólo se tiene un jefe de unidad departamental en Sierra de Santa Catarina y Sierra de Guadalupe, pero ninguna cuenta con consejo asesor, ocasionando un importante vacío en la gestión y funcionamiento de estas áreas.

En lo referente a los PN desincorporados, el proceso de transferencia incompleto, sin presupuesto, además de la insuficiente homologación entre las acciones implementadas en los diferentes niveles gubernamentales, así como el importante vacío jurídico en la materia, son factores que fomentan que el futuro de estas ANP sea incierto.

El establecimiento de un área protegida instala nuevas reglas, que necesitan ser consensuadas, sobre el uso y manejo de sus recursos, debido a que esto modifica la relación de los habitantes con su entorno y la forma en que comprenden y constituyen su espacio (Durand y Jiménez 2010). Por ello, no se debe confinar la problemática de las ANP, al aspecto biológico, cuando, la misma conservación en sí es un hecho social y político (Toledo 2005).

En la Ciudad de México la principal amenaza es la urbanización, discordancia en la planificación, el cambio de uso de suelo y la presencia de asentamientos humanos irregulares (AHI) consolidados, asociado a los factores políticos, sociales y económicos que dificultan la reubicación de dichos asentamientos. Desde 2005, se crearon comisiones de regulación especial para los AHI, en delegaciones con SC, y se llevan a cabo estudios de impacto (urbano) ambiental, sobre todo en aquellos AHI en suelo rural, para analizar cuáles son susceptibles de regularización. Esto representa un grave riesgo ecológico y no debe ser el objetivo principal de dichas comisiones, puesto que, los procesos de legalización de asentamientos antiguos “consolidados” sirven como modelo a los más recientes, que esperan alcanzar el momento de solicitar su legalización (Ruíz-Gómez 2006).

Es fundamental, crear un sistema local o regional que cuente con indicadores biológicos, geográficos y sociales que permitan evaluar las fortalezas y debilidades de cada una de las líneas estratégicas establecidas por el programa nacional de ANP (2007-2012): protección, manejo, restauración, conocimiento, cultura y gestión. Así como un sistema de in-

formación, evaluación y monitoreo, que permita conocer, evaluar y comunicar, la efectividad e impacto, en el corto y mediano plazo, de las políticas públicas en las ANP y otras modalidades de conservación.

Los esfuerzos y estrategias de conservación deberán estar encaminados a una mayor sinergia y coordinación interinstitucional sobre todo en la actualización, sistematización y revisión de la información que se genera a nivel local, no sólo en lo biológico sino en lo social, político-administrativo y jurídico. Es necesaria una mayor transparencia administrativa y de los órganos de vigilancia y monitoreo desconcentrados, que apliquen la normatividad y que no dependan de las mismas instancias a las que pretenden vigilar. De esta manera, será posible dar una mejor respuesta estratégica ante los cambios y una toma de decisión social y política consensuada, que nulifique o por lo menos disminuya el impacto negativo sobre la conservación de los ecosistemas, sus recursos y los servicios ambientales que brindan.

Referencias

Benavides-Mendoza, A., R.E Hernández-Valencia, H. Ramírez-Rodríguez y A. Sandoval-Rangel. 2010. *Tratado de Botánica Económica Moderna*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila.

CONAFOR. Comisión Nacional Forestal. 2006. Programa Estratégico Forestal del Distrito Federal. 2006-2025. SMA/DGCORENA. En: <*http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/12/858Programa%20Estrat%C3%A9gico%20Forestal%20del%20Distrito%20Federal.pdf*>, última consulta: 18 de agosto de 2015.

CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2011. Historia. En: <*http://www.conanp.gob.mx/ quienes_somos /historia. php*>, última consulta: 9 de noviembre de 2012.

——. 2012*a*. Áreas protegidas decretadas. En: <*http://www.conanp.gob.mx/ que_hacemos/*>, última consulta: 9 de noviembre de 2012.

——. 2012*b*. Sistema nacional de áreas naturales protegidas. En: <*http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/sinap.php.*>, última consulta: 15 de diciembre de 2012.

——. 2015. Sistema nacional de áreas naturales protegidas. En: <*http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/sinap.php.*>, última consulta: 1 de diciembre de 2015.

CORENA. Comisión de Recursos Naturales del Gobierno del Distrito Federal. 2009. Bitácora de la Cuenca del Valle de México, Diagnostico Final, Áreas Naturales Protegidas. En: <*http://www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamientoecologico/Documents/bitacora_cuenca_valle_mexico/diagnostico_final%2022_marzo_3.pdf*>, última consulta: 13 de mayo de 2014.

CORENADER y SAGARPA . 2005. Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural del Gobierno del Distrito Federal y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. *Atlas de Vegetación y Uso del Suelo. Suelos de Conservación del Distrito Federal*. Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable D.F. México.

Durand, L. y J. Jiménez. 2010. Sobre áreas naturales protegidas y la construcción de no-lugares. Notas para México. *Revista Líder* 16(12):59-72.

GDF. Gobierno del Distrito Federal. 2000. Ley ambiental de protección a la tierra en el Distrito Federal. Publicada el 13 de enero del 2000 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Última modificación 17 de septiembre de 2013.

——. 2005*a*. Acuerdo por el que se establece el sistema local de áreas naturales protegidas. Publicada el 19 de agosto del 2005 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

——. 2005*b*. Acuerdo por el que se reforma el programa de retribución por la conservación de servicios ambientales en reservas ecológicas comunitarias. Publicada el 19 de agosto del 2005 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Última reforma publicada el 8 de diciembre de 2006.

——. 2006. Acuerdo por el que se aprueba el programa de retribución por la conservación de servicios ambientales en áreas comunitarias de conservación ecológica. Publicada el 8 de diciembre de 2006 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

——. 2007. Decreto que reforma, adiciona y deroga diversas disposiciones del reglamento interior de la administración pública del Distrito Federal. Publicada el 28 de febrero de 2007 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

——. 2010. Acuerdo por el que se aprueba y expide el plan rector de las áreas naturales protegidas del Distrito Federal. Publicada el 9 de julio de 2010 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

PAOT. Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del DF. 2009. *Estudio sobre la superficie ocupada en Áreas Naturales Protegidas del Distrito Federal*. México.

PUEC y UNAM. 2011. Programa Universitario de Estudios de la Ciudad y la Universidad Nacional Autónoma de México *Programa de ordenamiento de la zona metropolitana del valle de México* (POZMVM). Programa Universitario de Estudios de la Ciudad (PUEC)/UNAM, México.

Ruíz-Gómez, M.M. 2006. El crecimiento de los asentamientos irregulares en áreas protegidas. La delegación Tlalpan. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. 60:83-109.

SEMARNAP. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 1999. Estadísticas del medio ambiente. SEMARNAP/INE/CONABIO, México.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Norma Oficial Mexicana. NOM-059-SEMARNAT-2010. Publicada el 30 de diciembre en el Diario Oficial de la Nación. Texto vigente.

SEDUE. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. 1988. Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Publicada el 28 de enero de 1988 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 9 de enero de 2015.

SMA. Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2012. *Informe Ejecutivo, Libros blancos* 2006-2012.

Toledo, V. 2005. Repensar la conservación: ¿áreas naturales protegidas o estrategia bio-regional? *Gaceta ecológica*, 77:67-83.

Áreas verdes urbanas

María Concepción Bastida Gasca
Gloria Irene Lozano Mascarúa

Descripción

Las áreas verdes urbanas (AVU) de la Ciudad de México representan un gran valor patrimonial para sus habitantes por sus características ambientales, ecológicas, culturales y sociales. Estas áreas constituyen los espacios más importantes donde los ciudadanos tienen un contacto constante con la naturaleza, debido a que están constituidos por una gran variedad de plantas como árboles, arbustos y herbáceas con orígenes, formas, colores, texturas y olores diferentes; cuentan con un gran número de especies de fauna silvestre (mamíferos, aves, reptiles, insectos, etc.) y además, brindan belleza escénica a la compleja estructura urbana. Todo lo anterior genera espacios armónicos para la convivencia de los ciudadanos y una mejor calidad de vida (figura 1).

En esta gran ciudad donde conviven casi 9 millones de habitantes, el deterioro ambiental se acentuó en los últimos años por la constante demanda de la vivienda, el equipamiento y los servicios (INEGI 2010). Ante ello, las áreas verdes cobran relevancia por los beneficios ambientales, sociales, culturales e incluso



Figura 1. Ejemplos de áreas verdes: Alameda Central y calle Regina, Centro Histórico. Foto: Ma. Concepción Bastida Gasca.

Bastida-Gasca, M.C. y G.I. Lozano-Mascarúa. 2016. Áreas verdes urbanas. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.295-307.

económicos, debido a que ayudan a brindar un ambiente saludable para la vida citadina.

Las AVU aportan múltiples servicios ambientales a la ciudad y sus habitantes como: la infiltración pluvial hacia los mantos acuíferos, la reducción de la erosión del suelo por el viento y agua, la regulación del régimen térmico, de humedad del aire y de velocidad de los vientos, la captación de partículas suspendidas que flotan en el ambiente; producción de oxígeno, y la reducción de los niveles de contaminación, principalmente de CO_2 y de los niveles de ruido (Nilsson y Randrup 1997, Rivas 2001).

La vegetación que se encuentra en las AVU contribuye a la conservación de la biodiversidad por la provisión de sitios de alimentación, protección y refugio de fauna silvestre. Además, sirve como fuente de germoplasma (cualquier material mediante el cual es posible generar nuevos individuos, Gámez 2010) y preservación de especies. Asimismo, los cinturones y avenidas verdes sirven como corredores biológicos que contribuyen a la conservación de la biodiversidad (Kuchelmeister 2000), como lo son el conjunto de parques, jardines, árboles, etc. que rodean una ciudad y el parque lineal (parque de escala periurbana, con vocación de estructuración y vertebración regional, LKS Ingeniería 2005).

Los servicios socioculturales que aportan las AVU a la población son esenciales para realizar actividades deportivas, recreativas, educativas, culturales (costumbres y rituales) y ambientales. Además, éstas proveen belleza escénica e identidad a la ciudad, proporcionan tranquilidad y ayudan a relajarse del estrés que impone el ambiente urbano. Las AVU son sitios de convivencia, unión ciudadana y contribuyen a generar arraigo e integración local, sin importar diferencias sociales, políticas, económicas, edades o credo alguno.

En el aspecto económico, las AVU brindan beneficios al convertirse en una fuente de generación de empleo, además de incrementar el valor inmobiliario de terrenos y casas situados en su proximidad.

Antecedentes

La transformación y percepción de los espacios verdes de la Ciudad de México a través de su historia está evidentemente ligada a su desarrollo político, social, económico y cultural. De acuerdo con la revisión que hace Martínez (2008), estos espacios se definen como sitios de recreación y ornato, por ejemplo, durante la colonia, la introducción de especies exóticas, como el pirul, sustituyeron a las nativas como el ahuehuete. En este contexto, y ante la ausencia de zonas arboladas se crea la Alameda Central como el primer parque urbano, que junto con el bosque de Chapultepec se convirtieron en las áreas verdes urbanas más importantes de la ciudad.

Los inicios del siglo XX pueden considerarse los más relevantes en la visión de la importancia de las AVU en la calidad de vida de los habitantes, debido a que el Ingeniero Miguel Ángel de Quevedo participó en el Congreso Internacional de Higiene y Urbanismo, realizado en París, en donde se establecieron acuerdos internacionales para dotar a las ciudades con 10% de espacios libres, de acuerdo con su extensión territorial, y 15% del área urbanizada o por urbanizar destinado a parques, jardines, juegos infantiles o deportivos. El ingeniero asumió estos acuerdos y los impulsó en la ciudad (Simonian 1999, Tovar y Alcántara 2002, Martínez 2008). Sin embargo, una de las principales problemáticas para establecer nuevas áreas verdes fue la disponibilidad de especies arbóreas que lograran adaptarse a las condiciones urbanas. Para resolverlo se hicieron intentos con numerosas especies nativas, pero fracasaron por las condiciones desérticas derivadas de los suelos intensamente erosionados, por lo que finalmente, se introdujeron al país especies exóticas como las acacias (*Acacia*), los eucaliptos (*Eucalyptus*), las casuarinas (*Casuarina*), los pinos (*Pinus*) y el tamarix (*Tamarix*) (Martínez 2008).

De 1934 a 1940, durante el gobierno del presidente Cárdenas se dio inicio a intensas campañas de reforestación en distintos

espacios abiertos de la ciudad, con especies nativas como los aguacates y los cipreses, entre otras, e introducidas como los eucaliptos, las palmas, las acacias, las catalpas, las casuarinas, los limoneros, los papayos y los mangos. Lo anterior generó pequeños bosquetes, que antes solo tenían vegetación arbustiva, haciendo más atractivo el paisaje y propiciando que la expansión urbana se extendiera más hacia estos espacios (Martínez 2008). A partir de los años cuarenta y hasta los noventa, el destino de las áreas verdes continuó con una tendencia acelerada a la disminución de su superficie en aras de la urbanización, demanda de servicios y construcción de ejes viales (Martínez 2008).

Situación actual y perspectivas

Derivado del manejo histórico de las AVU, la entidad cuenta con una amplia variedad de espacios verdes como bosques, zonas de barrancas (ubicadas principalmente al poniente de la ciudad), parques, jardines, plazas, plazuelas, glorietas y zonas arboladas en camellones y banquetas que enmarcan las vialidades. La riqueza de estas AVU está determinada principalmente por la variedad de las especies de árboles nativos y exóticos que las conforman y dan fisionomía propia a esta gran urbe, por lo que en una misma AVU se pueden encontrar especies de árboles originarios de diversas partes del mundo (cuadro 1), así como elementos florísticos nativos (cuadro 2).

Para la evaluación de los espacios verdes, se utiliza como indicador la relación de superficie de área verde por habitante. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS 2012), los espacios verdes son imprescindibles por proveer beneficios para el bienestar físico y emocional de la población y establece que se deben disponer como mínimo 9 m² de área verde por habitante, distribuidas de manera equitativa en relación a la densidad de población, lo cual mejora su calidad de vida y salud (WHO 2012). La ciudad cuenta con un área total de aproximadamente 150 000 ha, de las cuales 88 mil corresponden a suelo de conservación (SC) y 62 mil a suelo urbano. La superficie de AVU que reúne estas características representa 7.2% del territorio urbano, es decir, 5.3 m² por habitante (SMA 2006). Estos resultados indican que en la Ciudad de México no se cuenta con el área verde por habitante recomendada por la OMS, además, estos espacios se encuentran distribuidos de manera heterogénea y enfrentan diversas dificultades o amenazas para su preservación y desarrollo (cuadro 3).

Fortalecimiento del marco legal y normativo

Dentro de las reformas más significativas de la ley ambiental de la entidad (GDF 2000, 2002) en materia de áreas verdes, realizadas en el año 2001 y publicadas en 2002, destaca el papel normativo de la Secretaría del Medio Ambiente (SMA, actualmente SEDEMA). En ésta se delimita el papel operativo de los espacios verdes a las delegaciones políticas y la obligación de generar el inventario de áreas verdes, tanto en la ciudad en general, como a en las delegaciones (SMA 2006).

Otros instrumentos normativos relacionados, son la normas ambientales para la ciudad NADF-006-RNAT-2004 (GDF 2005) y NADF-001-RNAT-2012 (GDF 2014), que establecen los requisitos, criterios, lineamientos y especificaciones técnicas que deben cumplir las autoridades, personas físicas o morales que realicen actividades de fomento, mejoramiento y mantenimiento de áreas verdes públicas, así como aquellos que realicen poda derribo, trasplante y restitución de árboles. Estas normas establecen criterios para la utilización de especies vegetales preferentemente nativas - que además deberán cumplir con lineamientos de calidad, por ejemplo, utilizar individuos arbóreos con altura mínima de 2.5 m- y tener determinadas características de cultivo que incrementen su porcentaje de sobrevivencia en el área verde en que se deseen establecer, entre otras acciones de manejo.

Cuadro 1. Especies de árboles introducidos más comunes a la Ciudad de México.

Familia	Especie		Origen
	Nombre científico	Nombre común	
Anarcardiaceae	*Schinus molle*	Pirul	Perú
Bignoniaceae	*Jacaranda mimosifolia*	Jacaranda	Sudamérica
Casuarinaceae	*Casuarina equisetifolia*	Casuarina	Asia y Australia
Cupressaceae	*Cupressus sempervirens*	Ciprés italiano	Este del Mediterráneo
Fabaceae	*Acacia longifolia* *Acacia melanoxilon* *Acacia retinodes*	Acacias	Australia
Moraceae	*Ficus benjamina*	Ficus benjamina	Asia tropical
	Ficus elastica	Hule	Asia tropical
	Ficus microcarpa	Laurel de la India	Sudeste de Asia y Australia
Myrtaceae	*Eucalyptus* spp.	Eucalipto	Australia
Oleaceae	*Ligustrum lucidum*	Trueno	China
Proteaceae	*Grevillea robusta*	Grevilea	Australia
Rosaceae	*Eriobotrya japonica*	Níspero	China
Rosaceae	*Prunus persica*	Durazno	China
	Pyrus calleryana	Perales	China
	Pyrus malus	Manzano	Europa del este y Asia occidental
Rutaceae	*Citrus aurantifolia*	Limonero	India y sudeste asiático
	Citrus aurantium	Naranjo	Asia suroriental
Salicaceae	*Populus alba* *Populus deltoides* *Populus tremuloides*	Álamos	Europa, Asia, Africa y Norteamérica
Tamaricaceae	*Tamarix gallica*	Tamarix	Europa
Ulmaceae	*Ulmus parvifolia*	Olmo chino	China

Fuente: elaboración propia

Cuadro 2. Especies de árboles nativos de México más comunes en las AVU.

Familia	Especie		Origen
	Nombre científico	Nombre común	
Aceraceae	*Acer negundo*	Acezintle	Norteamérica
Cupressaceae	*Cupressus lusitanica*	Cedro blanco	Mesoamérica
Fabaceae	*Erytrina americana*	Colorín	México
Fagaceae	*Quercus* spp.	Encino	México
Hamamelidaceae	*Liquidambar styraciflua*	Liquidámbar	Desde Norteamérica hasta Centroamérica
Lauraceae	*Persea americana*	Aguacate	México y Guatemala
Oleaceae	*Fraxinus uhdei*	Fresno	México
Pinaceae	*Pinus* spp.	Pino	México
Rosaceae	*Crataegus mexicana*	Tejocote	México
Rosaceae	*Prunus serotina* subesp. *capuli*	Capulín	Desde Canadá hasta Guatemala
Salicaceae	*Salix bonplandiana*	Ahuejote	Estados Unidos, México y Guatemala
Taxodiaceae	*Taxodium mucronatum*	Ahuehuete	Estados Unidos, México y Guatemala

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 3. Principales problemas de las áreas verdes urbanas.

Causas	Consecuencias
Construcción de grandes obras públicas y privadas, principalmente para infraestructura vial y conjuntos habitacionales.	Pérdida constante de área verde derivada de la expansión urbana y de la constante demanda de servicios públicos.
Ausencia de un proyecto de diseño, acorde con las características y la función del sitio a establecer.	Imagen paisajística de poca calidad.
Sobreutilización de especies	Espacios poco diversos y propensos al ataque de plagas y enfermedades.
Pasadas campañas de reforestación, cuyo principal objetivo era lograr una meta numérica de millones de árboles, sin importar las necesidades de espacio de las especies para su desarrollo idóneo.	Arbolado excesivo y con un desarrollo poco vigoroso.
No se consideran las necesidades básicas del arbolado como agua y nutrientes, hasta lograr su establecimiento permanente.	Reforestaciones poco exitosas.
Estrés ocasionado por la falta de mantenimiento adecuado a las necesidades de cada una de las especies.	Alta incidencia de plagas y enfermedades en el arbolado.
Derribos injustificados o prácticas indiscriminadas de poda por falta de capacitación o desinterés para realizar estos trabajos con las técnicas adecuadas, o absurdamente para la liberación de la visibilidad de anuncios publicitarios.	Gran pérdida de masa arbórea.
Arbolado situado es espacios inadecuados para su desarrollo.	Se generan condiciones de riesgo por la caída de árboles o sus ramas, provocando daños a bienes muebles e inmuebles, e incluso la integridad física de personas, así como la afectación de los servicios públicos y seguridad en la ciudad.
Deficiente y escaso mantenimiento, tanto de la cubierta vegetal y el suelo, como de la infraestructura.	Espacios poco utilizados por la ciudadanía para la convivencia y el esparcimiento. debido a su mala calidad
Falta de información sobre los servicios que brindan las áreas verdes.	Vandalismo hacia estos espacios.

Fuente: elaboración propia.

Instrumentos de gestión

Uno de los grandes rezagos en la entidad es la sistematización de la información en materia de áreas verdes, que permitan generar un acervo de consulta básica para los tomadores de decisiones, personal administrativo y operativo, así como el público interesado en el desarrollo de estos espacios. Para contribuir a revertir esta problemática, a partir de 2002, se avanzó con diversos estudios y herramientas que permiten una gestión más eficiente, entre los cuales cabe destacar:

1) Inventario general de AVU

La integración del inventario general de AVU, en cumplimiento de la legislación ambiental vigente, es indispensable para llevar a cabo acciones de fomento, creación, mejoramiento, protección, conservación y mantenimiento de las áreas verdes en la ciudad. En 2002, se generó el primer inventario, mediante un programa computarizado que permitió la integración, análisis y consulta de su distribución espacial; una base de datos para acopio y procesamiento de información actualizada; planes de manejo de AVU, con especificaciones para cada una de las delegaciones políticas; y propuestas para desarrollar nuevos espacios con áreas verdes y/o áreas de valor ambiental (SMA 2006).

Para estructurar el sistema de inventario de AVU se realizaron las siguientes etapas: 1) recopilar información primaria (sistema de monitoreo ambiental, Red Automática de Monitoreo Atmosférico [RAMA] y del Sistema Meteorológico Nacional); 2) generar concentrados de información; 3) interpolar espacialmente con el método geoestadístico Kriging; y 4) utilizar métodos de regionalización multivariados. Dicho sistema permite incluir espacios con vegetación arbórea, arbustiva o

pastos con 160 m^2 como unidad mínima de análisis. En la fase de procesamiento de imágenes se aplicaron técnicas para el uso y análisis de la información satelital (SMA 2006). Los resultados mostraron que 20.4% del suelo urbano está cubierto por áreas verdes públicas y privadas, de esta superficie 55.9% son zonas arboladas y el resto son pastos y/o arbustos (SMA 2006).

A nivel delegacional se muestran fuertes contrastes: por ejemplo las delegaciones Benito Juárez, Tlalpan, Coyoacán y Cuauhtémoc presentaron arriba del 74% de zonas arboladas; mientras que Iztapalapa y Venustiano Carranza, están por debajo con 28% y Tláhuac sólo tiene 4.4% (SMA 2006).

2) Actualización del inventario general de AVU

Para 2010 el inventario se actualizó con el fin de unificar la nomenclatura de las áreas verdes (figuras 2 y 3) (SMA 2010). Para este trabajo se categorizaron las áreas verdes de la siguiente manera: *a*) áreas naturales protegidas (ANP), *b*) áreas de valor ambiental (AVA), *c*) escuelas o dependencias públicas, *d*) parques (parques, jardines, plazas, deportivos, plazuelas), *e*) alamedas, *f*) vialidades (camellones, glorietas, isletas, triángulos, bordos canales), *g*) unidad habitacional, *h*) panteón, *i*) vivero, *j*) bosques urbanos y *k*) barrancas.

3) Inventario de arbolado urbano

Hasta el momento, no se cuenta con un estudio integral de todo el arbolado urbano georreferenciado que indique sus características y condiciones de desarrollo para la planeación de las necesidades de mantenimiento de cada AVU. Actualmente, la atención del arbolado corresponde a las delegaciones, sin embargo, éstas carecen de instrumentos para atender su problemática de manera sistematizada. En 2009 se realizó el Inventario de arbolado georreferenciado de Gustavo A. Madero, Iztacalco, Iztapalapa y Venustiano Carranza, como base para la gestión y la prevención de riesgos asociados. Este inventario aportó datos dasonómicos (de cultivo y aprovechamiento) como el diámetro del tronco, la altura y el diámetro de copa, así como la diversidad de especies, las etapas de desarrollo, la incidencia de plagas y enfermedades, las necesidades de mantenimiento como poda, derribo o trasplante, entre los más importantes (figura 4). Si bien sería idóneo contar con este tipo de inventarios en todas las delegaciones, desafortunadamente no se han destinado los recursos suficientes para ello.

Los resultados más relevantes de este trabajo fueron los siguientes:

- Se evaluaron 80 474 individuos arbóreos en las principales vialidades primarias y secundarias, así como algunos parques y jardines de cada demarcación.
- Las principales especies que conforman estas áreas verdes son: el fresno (*Fraxinus uhdei*), la casuarina (*Casuarina equisetifolia*), el ficus llorón (*Ficus benjamina*), el trueno lila (*Ligustrum lucidum*), el laurel de la India (*Ficus microcarpa*), el ciprés italiano (*Cupressus sempervirens*), el cedro blanco (*C. lusitanica*), el eucalipto rojo (*Eucalyptus camaldulensis*), el olmo chino (*Ulmus parvifolia*), el colorín (*Erythrina americana*), el alamillo (*Populus tremuloides*) y la jacaranda (*Jacaranda mimosifolia*) (figura 5).
- Se encontraron 625 individuos arbóreos en condiciones de alto riesgo, 4 527 en condiciones de mediano riesgo y 13 818 en condiciones de bajo riesgo.
- La presencia de muérdago (planta hemiparásita, actualmente una de las principales plagas del arbolado urbano en la ciudad), es 1% (856 individuos arbóreos; ver recuadro sobre El problema de los muérdagos en el arbolado urbano).

Estos resultados muestran que el manejo del arbolado de la Ciudad de México es inadecuado por tres causas principales: la sobreutilización de algunas especies principalmente introducidas, el tener un alto porcentaje de

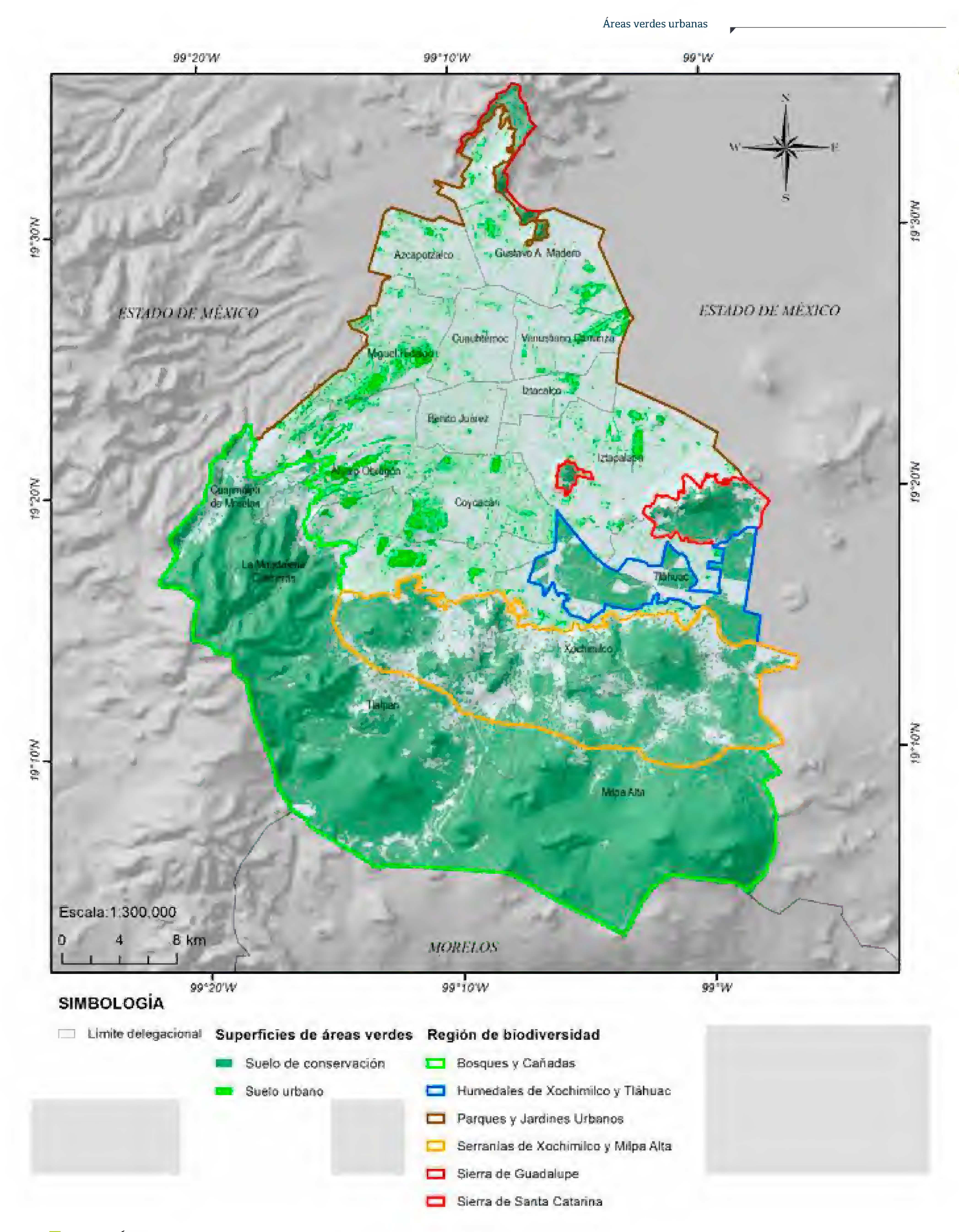


Figura 2. Áreas verdes urbanas. Fuente: elaboración propia con información de SMA 2010.

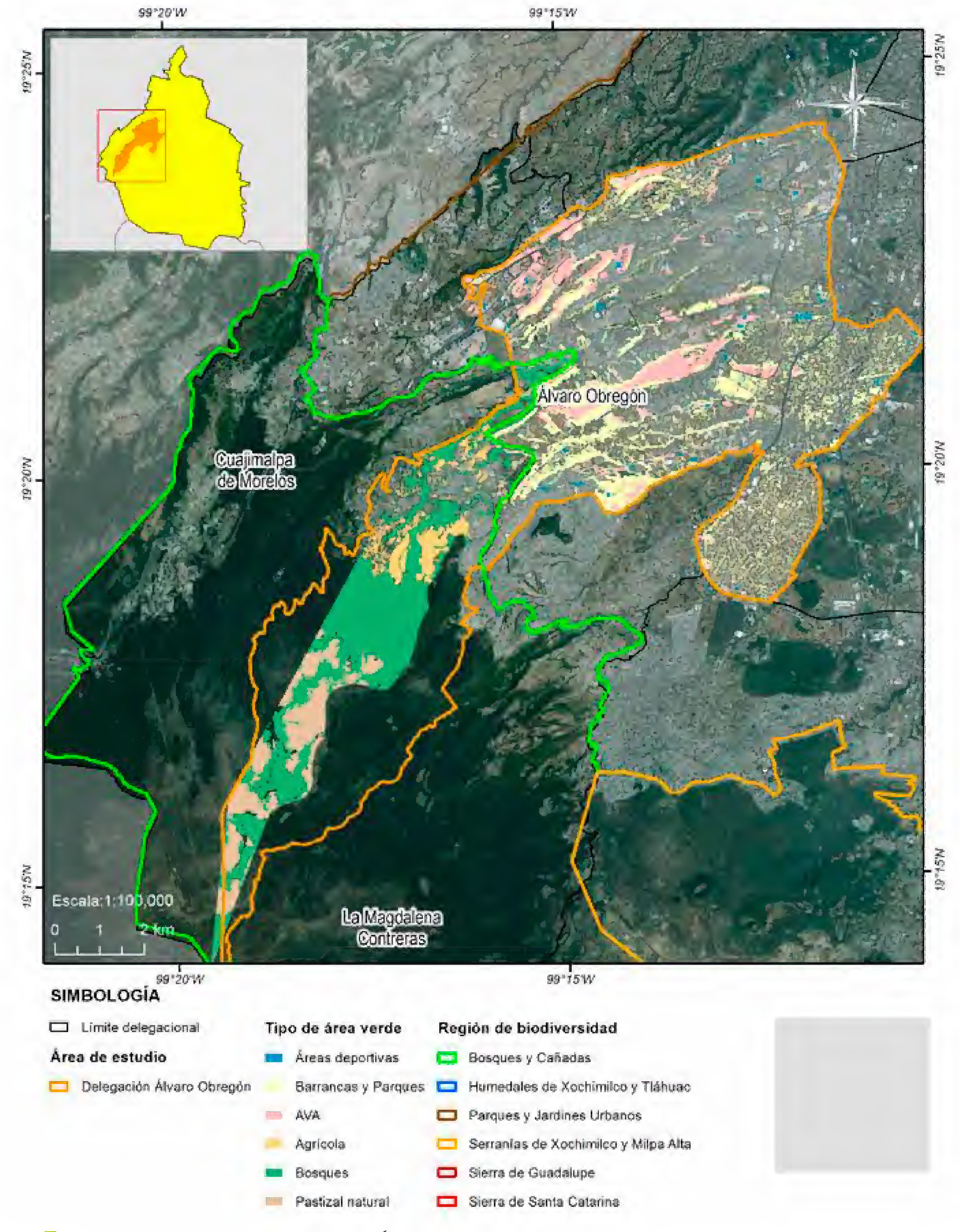


Figura 3. Distribución de áreas verdes de la Delegación Álvaro Obregón. Fuente: SMA 2010.



Figura 4. Ejemplo de inventario de arbolado mediante el sistema de información geográfica (SIG). Fuente: SMA 2009*a*.

árboles en algún nivel de riesgo; y la incidencia de muérdago (aunque aparentemente no significativa), que si no se lleva un control adecuado, tenderá a incrementar su afectación a un mayor número de árboles. Lo anterior evidencia la necesidad de llevar a cabo una mejor planificación en los programas de arborización y proyectos de creación de áreas verdes de la ciudad, así como proyectos específicos para la atención del arbolado en condición de riesgo o afectado por una alta incidencia de plagas o enfermedades (SMA 2009*b*).

Reorientación productiva de plantas en viveros

El Gobierno de la Ciudad de México cuenta con los viveros Nezahualcóyotl y Yecapixtla encargados de producir y mantener plantas para la ciudad. Hasta el año 2000 se producían grandes cantidades de plantas y especies diversas, dando menor importancia a criterios de calidad y requerimientos reales para las especies de los programas de reforestación urbana (SMA 2002). Actualmente, se lleva a cabo la reorientación productiva de ambos viveros, dejando atrás la producción y plantación de millones de árboles menores a un metro de altura (SMA 2006). El nuevo esquema de producción está dirigido a la obtención y plantación de árboles de 2, 4 y 6 m de altura como los ahuehuetes, las acacias, los truenos, los ailes, los negundos, las astronómicas, las especies frutales y florales; así como arbustos y cubresuelos de alta calidad fisonómica y fitosanitaria como los agaves, los agapandos, las nochebuenas, el cempasúchil, las arrayanes, los kalanchos, pero sobre todo acordes a las condiciones de la entidad (figuras 7 y 8). Asimismo, se determinó detener la producción de algunas especies que se habían sobreutlizado o no se consideran aptas para el ambiente urbano, por sus dimensiones o desarrollo de sus raíces y que provocan graves daños a su infraestructura y equipamiento, como la araucaria (*Araucaria excelsa*), el chopo americano (*Populus deltoides*), el euca-



Figura 5. Especies más comunes derivadas del inventario de arbolado de las delegaciones Gustavo A. Madero, Iztacalco, Iztapalapa y Venustiano Carranza: a) jacaranda (*Jacaranda mimosifolia*), b) fresno (*Fraxinus uhdei*), c) ficus benjamina (*Ficus benjamina*), d) eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*), e) colorín (*Erythrina americana*), f) casuarina (*Casuarina equisetifolia*), g) ciprés italiano (*Cupressus sempervirens*) y h) laurel de la India (*Ficus microcarpa*). Fotos: Concepción Bastida Gasca.

lipto (*Eucalyptus camaldulensis*, *E. globulus* y *E. citriodora*) y el tamarix (*Tamarix gallica*). En el cuadro 4 se presentan las especies que se producen actualmente en estos viveros.

Conclusiones

Para el mejoramiento ambiental de la Ciudad de México es necesario facilitar la gestión de un marco legal y normativo, la capacitación técnica y científica del personal que labora en estos espacios, la elaboración y aplicación de herramientas de seguimiento como son el inventario de áreas verdes e inventarios de arbolado. Asimismo, se requiere de la aplicación de políticas públicas, la coordinación interinstitucional y la asignación del presupuesto suficiente para un óptimo desarrollo de las AVU. Todo lo anterior se debe de reflejar en ejes estratégicos que permitan contar con las áreas verdes que la ciudad requiere, para el bienestar de la población actual y las futuras generaciones. Es aquí donde radica la importancia de valorar y promover una nueva cultura ciudadana de vinculación y corresponsabilidad con el cuidado y preservación de su entorno natural.





Figura 6. Producción de árboles de porte urbano en los viveros de la ciudad: *a*) tejocote (*Crataegus mexicana*) y *b*) cedro limón (*Cupressus macrocarpa*). Foto: Concepción Bastida Gasca.



Figura 7. Plantas crasuláceas, concidas como kalanchos (*Kalanchoe* sp.) con fines ornamentales en las áreas verdes urbanas. Foto: Concepción Bastida Gasca.

Cuadro 4. Especies arbóreas, arbustivas y herbáceas que se producen actualmente en los viveros de Nezahualcóyotl y Yecapixtla.

Categoría	Especies
Árboles	Acacia negra (*Acacia melanoxilon*), acacia azul (*A. baileyana*), aile (*Alnus firmifolia*), ahuehuete (*Taxodium mucronatum*), ahuejote (*Salix bonplandiana*), árbol de las orquídeas (*Bahuinia variegata*), astronómica (*Lagerstroemia indica*), capulín (*Prunus serotina*), cedro blanco (*Cupressus lusitanica*), cedro limón (*C. macrocarpa*), chabacano (*Prunus armeniaca*), ciprés italiano (*Cupressus sempervirens*), ciruelo rojo (*Prunus cerasifera*), durazno (*Prunus persica*), encino (*Quercus rugosa*), ficus (*Ficus benjamina*), fresno (*Fraxinus uhdei*), grevilea (*Grevillea robusta*), guayabo (*Psidium uajava*), jacaranda (*Jacaranda mimosifolia*), liquidámbar (*Liquidambar styraciflua*), laurel de la India (*Ficus macrocarpa*), limonero (*Citrus aurantifolia*), magnolia (*Magnolia grandiflora*), manzano (*Pyrus malus*), naranjo (*Citrus aurantium*), negundo (*Acer negundo*), níspero (*Eriobotrya japonica*), olivo (*Olea europaea*), peral (*Pyrus calleryana*), pino (*Pinus greggii*), pino (*Pinus pseudostrobus*), pino (*Pinus rudis*) pino alepo (*Pinus halepensis*), pino azul (*Pinus maximartinezii*), pino Moctezuma (*Pinus montezumae*), pino piñonero (*Pinus cembroides*), pino ayacahuite (*Pinus ayacahuite*), pirul (*Schinus molle*), pirul del Brasil (*Schinus terebinthifolius*), sauce llorón (*Salix babylonica*), troeno (*Ligustrum japonicum*), tepozán (*Buddleia cordata*), tecojote (*Crataegus mexicana*), tulipán africano (*Spathodea campanulata*) y yuca (*Yucca guatemalensis*).
Arbustos	Agave pulquero (*Agave salmiana*), aguacatillo (*Garrya laurifolia*), arrayán (*Buxus sempervirens*), azalea (*Azalea indica*), bugambilia (*Bougainvillea glabra*), calistemo (*Callistemon lancelolatus*), chapulixtle (*Dodonaea viscosa*), clavo (*Pittosporum tobira*), evónimo (*Euonymus japonicus*), junípero (*Juniperus communis*), junípero turulosa (*Juniperus torulosa*), nolina (*Nolina* sp.), palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*), palo loco (*Senecio praecox*), retama (*Cassia tomentosa*), rosa laurel (*Nerium oleander*), santolina (*Santolina tomentosa*), sombrero chino (*Holskioldia sanguinea*), troeno dorado (*Ligustrum ovalifolium*), troeno verde (*Ligustrum communis*), tulia dorada (*Thuja occidentalis*), y tulipán (*Hibiscus* sp.).
Herbáceas	Agapando (*Agapanthus africanus*), alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*), ave de paraíso (*Strelitzia reginae*), belén de Guinea (*Impatiens* sp.) chisme (*Sedum moranense*), cortina (*Lampranthus spectabilis*), dedomoro (*Mesembryanthemun educe*), gazania (*Gazania* x *hibrida*), geranio (*Pelargonium hortorum*), hortensia (*Hydrangea macrophylla*), kalancho (*Kalanchoe* sp.), lantana (*Lantana camara*), lirio (*Iris germanica*), cempasúchil (*Tagetes erecta*), nochebuena (*Euphorbia pulcherrima*), rocío (*Aptenia cordifolia*), rosa común (*Rosa* sp.) y siempreviva (*Sedum dendroideum*).

Fuente: elaboración propia.

Referencias

Gámez, M.R. 2010. Conservación de Germoplasma. En: <*www.uv.mx/personal/mgamez/docencia/metodos-de-conservacion-de-germoplasma*>, última consulta: enero de 2013.

GDF. Gobierno del Distrito Federal. 2000. Ley Ambiental del Distrito Federal. Publicada el 13 de enero del 2000 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

——. 2002. Decreto que modifica los programas delegacionales de desarrollo urbano para el Distrito Federal. Publicado el 31 de enero de 2002 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

——. 2013. Gobierno del Distrito Federal. Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-006-RNAT-2012. Publicada el 17 de septiembre del 2003 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

——. 2016. Gobierno del Distrito Federal. Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-001-RNAT-2015. Publicada el 1 de abril del 2016 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

SMA. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2002. Informe final del proyecto ejecutivo para la reorientación del vivero Nezahualcóyotl. SMA/GDF, México.

——. 2006. Las áreas verdes urbanas del Distrito Federal. En: Memorias Dirección General de Bosques Urbanos y Educación Ambiental. México.

——. 2009*a*. Informe final del proyecto inventario georeferenciado de arbolado urbano de las delegaciones Gustavo A. Madero, Iztacalco, Iztapalapa y Venustiano Carranza, como base para la gestión y la prevención de riesgos asociados. SMA/GDF, México.

——. 2009*b*. Estudio base para el manejo de arbolado urbano infestado por muérdago. SMA/GDF, México.

——. 2010. Informe final del proyecto integración del sistema de gestión para las áreas verdes del Distrito Federal mediante un sistema de información geográfica. SMA/GDF, México.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2010. Censo de Población y Vivienda 2010. En: <*http://www3.inegi.org.mx/Sistemas/temasV2/Default.aspx?s=est&c=17484*>, última consulta: enero de 2013.

Kuchelmeister, G. 2000. Árboles y silvicultura en el milenio urbano. Contribuciones a la silvicultura urbana en un mundo progresivamente urbanizado. *Unasylva* 200(51).

LKS Ingeniería. 2005. Parque lineal del Nervión. En: <*http://www.lks.es/C/RE/arquitecturaeingenieria/tabid/146/articleType/ArticleView/articleId/306/language/es-ES/Plan-Especial-del-Parque-Lineal-del-Nervion.aspx*>, última consulta: 18 de agosto de 2015.

Martínez, L. 2008. *Árboles y áreas verdes urbanas de la Ciudad de México y su zona metropolitana*. Fundación Xochitla, A.C., México

Nilsson, K. y T.B. Randrup. 1997. *Actividades forestales urbanas y periurbanas. Silvicultura urbana y periurbana*. XI Congreso Forestal Mundial, Antalya, Turquía.

Rivas, T. 2001. *Importancia y ambiente de los bosques y árboles urbanos*. Universidad Autónoma de Chapingo. México.

Simonian, L. 1999. *La defensa de la tierra del jaguar. Una historia de la conservación en México*. SEMARNAT/CONABIO/IMERNAR, México.

Tovar, L. y S. Alcántara. 2002. Los jardines en el siglo XX. El viejo bosque de Chapultepec. En: Antiguos jardines mexicanos. *Arqueología Mexicana* 5756-57.

WHO. World Health Organization. 2012. Health indicators of sustainable development. En: <*http://www.who.int/hia/green_economy/indicators_cities.pdf*>, última consulta: 18 de agosto de 2015.

Recuadro | **Viveros**

Patricia Ramos Ramos

Introducción

De acuerdo a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, los viveros son los espacios destinados a la propagación y cultivo de especies vegetales ornamentales, arbustivas y arbóreas (SEDUE 1988). Bajo este contexto la Ciudad de México tiene tres importantes viveros: Nezahualcóyotl, Yecapixtla y San Luis Tlaxialtemalco, los cuales producen y mantienen los árboles, los arbustos y las plantas ornamentales, con calidad fisonómica y fitosanitaria, para abastecer los programas de reforestación de las áreas verdes de la entidad (SEDEMA 2014*a*).

Estos tres viveros son administrados por la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA), la Dirección General de Bosques Urbanos y Educación Ambiental (DGBUEA), específicamente a través de la Dirección de Reforestación Urbana Parques y Ciclovías, dirige los viveros de Nezahualcóyotl y Yecapixtla; mientras que la Dirección General de la Comisión de Recursos Naturales (DGCORENA) dirige el vivero de San Luis Tlaxialtemalco.

Una las principales problemáticas que presentaban antiguamente estos viveros, era que originalmente no se tomaban en cuenta los criterios de calidad ni las necesidades de la ciudad. No obstante, para el año 2000 se llevó a cabo la reorientación de la producción, enfocándola a la obtención de plantas saludables, adaptables a las condiciones de la entidad y con características que garantizan su supervivencia (SEDEMA 2014*b*).

Con la finalidad de dar cumplimiento a lo anterior, los viveros se rigen por las normas ambientales para la entidad NADF-006-RNAT-2004 (GDF 2005) y NADF-001-RNAT-2012 (GDF 2014). En éstas se establecen los requisitos, los criterios, los lineamientos y las especificaciones técnicas que deben cumplir las personas físicas o morales, así como las autoridades que llevan a cabo actividades para el fomento, mejoramiento y mantenimiento de áreas verdes públicas y poda de árboles.

Vivero Yecapixtla

Localizado en el estado de Morelos al sur del poblado de Yecapixtla, inició sus actividades en el año de 1973 y tiene como principal objetivo, la producción de arbustos y herbáceas de carácter ornamental, para la instauración, mantenimiento y restauración de las áreas verdes de la ciudad (SEDEMA 2014*a*).

Vivero Nezahualcóyotl

Inició sus actividades en 1977, actualmente se encuentra localizado al sureste de la entidad en la delegación Xochimilco, su objetivo es la producción de especies forestales de clima templado-frío, arbustos, plantas ornamenta-

Ramos-Ramírez, P. 2016. Viveros. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.308-309.

les y cubresuelos[1] para el establecimiento de huertos frutales, naturación (enverdecimiento) de azoteas y restauración de zonas de conservación ecológica (SEDEMA 2014*a*).

Vivero de San Luis Tlaxialtemalco

En 1993 se declaró de utilidad pública la ampliación y operación del vivero de San Luis Tlaxialtemalco (SEGOB 1993), ubicado en la delegación Xochimilco. Su objetivo se encuentra enfocado a la producción de especies nativas en cantidad y calidad demandada por el Programa de Reforestación Rural del Suelo de Conservación, con una producción de 30 especies nativas de árboles, arbustos y frutales (SEDEMA 2014*b*). Cuenta con la infraestructura necesaria que permite identificar calidad, nutrición, microbiología, conservación de material genético de las semillas utilizadas, así como la atención de incendios forestales y capacitación para el programa de reforestación (SEDEMA 2014*b*).

Los viveros son espacios importantes para el mantenimiento y conservación de la vegetación de las áreas verdes de la ciudad. Es importante que se cumplan con las especificaciones técnicas y criterios para identificar las especies adecuadas para conservar la biodiversidad de la entidad.

[1] Los cubresuelos son especies de plantas cuyos tallos crecen de manera horizontal cubriendo el suelo.

Referencias

GDF. Gobierno del Distrito Federal. 2005. Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-006-RNAT-2004. Publicada el 18 de noviembre de 2005 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

——. 2014. Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-006-RNAT-2012. Publicada el 14 de febrero de 2014 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

SEDUE. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. 1988. Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Publicada el 28 de enero de 1988 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 22 de mayo de 2015.

SEDEMA. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2013. Primer informe de la SEDEMA. Capítulo 3. Suelo de conservación y biodiversidad. En: <*http://www.sedema.df.gob.mx/sedema/images/archivos/noticias/primer-informe-sedema/capitulo-03.pdf*>, última consulta: 15 de marzo de 2014.

——. 2014*a*. Reforestación urbana. En: <*http://www.sedema.df.gob.mx/sedema/index.php/temas-ambientales/reforestacion-urbana*>, última consulta: 15 de marzo de 2014.

——. 2014*b*. Producción de planta en vivero de San Luis Tlaxialtemalco. En: <*http://www.sedema.df.gob.mx/sedema/index.php/temas-ambientales/suelo-de-conservacion*>, última consulta: 15 marzo de 2014.

SEGOB. Secretaria de Gobernación. 1993. Decreto por el que se expropia en favor del Departamento del Distrito Federal, una superficie ubicada en la confluencia de las delegaciones Xochimilco y Tláhuac, necesaria para la ampliación y operación del vivero de San Luis Tlaxialtemalco. Publicada 5 de agosto de 1993 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

Recuadro

El problema de los muérdagos en el arbolado urbano

Gloria Irene Lozano Mascarúa
María Concepción Bastida Gasca

Los muérdagos son plantas parásitas que se localizan en las partes aéreas de los árboles, y se consideran una plaga que afecta numerosas especies arbóreas. Éstos debilitan a su hospedero, debido a que de ellos toman el agua, las sales minerales, los carbohidratos y otras sustancias. Consecuentemente, alteran sus funciones hasta producirles paulatinamente la muerte. Dentro de los métodos más comunes para el control de esta plaga, están la poda de las ramas de los árboles infestados, la aplicación de productos químicos o el manejo silvícola.

Desafortunadamente, la información que se tiene acerca de este problema es escasa. Por ello, se considera que son necesarios estudios sobre los aspectos de taxonomía, anatomía, impacto ecológico, epidemiología, así como un análisis para determinar el daño global. Es necesario contar con las bases que permitan determinar métodos de control y disminuir la incidencia de esta plaga en las áreas verdes urbanas (AVU). En este sentido, recientemente la Secretaria de Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México, llevó a cabo un proyecto denominado Estudio base para el manejo del arbolado urbano infestado por el muérdago; cuyo principal objetivo fue caracterizar a esta especie parásita, su distribución y su daño al arbolado (SMA 2009).

Los alcances más relevantes de este proyecto fueron: 1) la elaboración de una clave dicotómica para la identificación de los muérdagos verdaderos en el arbolado urbano, 2) la determinación de su impacto del muérdago en el arbolado, 3) la realización de un estudio anatómico del xilema de las especies que parasitan a los árboles, y 4) su diagnóstico epidemiológico bajo condiciones urbanas.

El diagnóstico concluyó que existen siete especies de muérdago en la entidad: 1) *Cladocolea loniceroides*, *C. diversifolia*, *Struthanthus interruptus*, *S. quercicola*, *S. depeanus*, *Phoradendron velutinum* y *P. brachystachyum*; siendo la especie *S. interruptus* la que presenta mayor incidencia, seguido de *C. loniceroides*; 2) los géneros de árboles con mayor infestación de muérdago son: *Fraxinus* (fresno), *Populus* (álamo), *Ulmus* (olmo), *Ligustrum* (trueno), *Alnus* (aile) y *Acacia* (acacia).

Una vez que se obtuvo la información básica de la biología del muérdago, se continuó con una segunda etapa a través del proyecto Manejo de arbolado urbano infestado por muérdago y otros agentes que afectan su salud en el Distrito Federal (SMA 2010). El objetivo de este trabajo fue encontrar el mejor mecanismo (biológico, químico y cultural) para lograr el control de la plaga del muérdago que se encuentra ampliamente distribuida en la entidad.

Dentro de los resultados del estudio destaca que: 1) Se identificaron un total de ocho hongos que crecen sobre el muérdago (*Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Pestalotia*, *Phoma*, *Trichoderma*, *Lasiodiplodia* y *Uromyces*), así como insectos que podrían considerarse especies con potencial de control biológico: avispa agalladora del muérdago (*Eurytoma* sp.), picudo café (*Anthonomus* sp.), chicharrita verde (*Empoasca* sp.), psílido del muérdago (*Trioza* sp.), entre otros; 2) se identificaron aves como el gorrión inglés (*Passer domesticus*), la primavera (*Turdus* sp.), el zanate

Lozano-Mascarúa, G.I. y M.C. Bastida-Gasca. 2016. El problema de los muérdagos en el arbolado urbano. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.310-311.





Figura 1. Árbol de jacaranda (*Jacaranda mimosifolia*) infestada por muérdago de la especie *Cladocolea loniceroides.* Fotos: Concepción Bastida Gasca.

(*Quiscalus mexicanus*); así como las ardillas (*Sciurus* sp.), del grupo de los mamíferos, como especies dispersoras de semillas de muérdago; 3) como una medida de control químico, se realizaron pruebas con reguladores de crecimiento en las especies *Cladocolea loniceroides* y *C. diversifolia*, siendo el producto Etefón (regulador del crecimiento) en diferentes dosis, el que mostró mejores resultados en el control de esta plaga; 4) como parte del control cultural, se observó que las actividades de manejo como el composteo, el riego y la poda, reducen sustancialmente los rebrotes de muérdago.

Finalmente, se concluyó que es importante estudiar y conocer la distribución de las especies parásitas denominadas muérdagos, para controlar los daños en los árboles que hospedan y disminuir los efectos negativos sobre los mismos y la biodiversidad de las áreas verdes urbanas de la Ciudad de México.

Referencias:

SMA. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2009. Estudio base para el manejo de arbolado urbano infestado por muérdago. SMA/GDF, México.

——. 2010. Manejo de arbolado urbano infestado por muérdago y otros agentes que afectan su salud en el Distrito Federal. SMA/GDF, México.



Áreas de valor ambiental

María Guadalupe Méndez Cárdenas
María Concepción Bastida Gasca
Gloria Irene Lozano Mascarúa

Descripción

La Ley Ambiental del Distrito Federal (LADF), ahora llamada Ley Ambiental de Protección a la Tierra en el Distrito Federal (LAPTDF), define a las áreas de valor ambiental (AVA), como las áreas verdes (espacios públicos cuyo elemento principal es la vegetación), en donde los ambientes originales han sido modificados por las actividades antropogénicas y que requieren ser restauradas o preservadas, en función de que aún mantienen ciertas características biofísicas y escénicas, que les permiten contribuir a mantener la calidad ambiental de la ciudad (GDF 2000, 2013). Existen dos categorías de AVA: los bosques urbanos y las barrancas urbanas.

Bosques urbanos

Éstos son áreas verdes de valor ambiental que se localizan en suelo urbano, en las que predominan especies de flora arbórea y arbustiva, y en donde se distribuyen otras especies de vida silvestre asociadas y representativas de la biodiversidad de la Ciudad de México. También se contempla a las especies introducidas que mejoran el valor ambiental, estético, científico, educativo, recreativo, histórico o turístico. Además incluye otras zonas análogas de interés general como el cerro de Zacatepetl y bosque de Chapultepec, que presentan una masa forestal cuya extensión y características contribuyen a mantener la calidad del ambiente en la ciudad y para frenar el crecimiento de la mancha urbana, además de aportar servicios ecosistémicos. Estas últimas áreas, no están claramente definidas en la LAPTDF (GDF 2000).

Barrancas urbanas

En el decreto de las barrancas urbanas y de acuerdo a la Norma de Ordenación General No. 21 de los Programas de Desarrollo Urbano Delegacionales y a la Ley Ambiental (GDF 2000), éstas se definen como la depresión geográfica que por sus condiciones topográficas y geológicas se presenta como hendidura con dos laderas en la superficie terrestre, originada por erosión y/o por cualquier otro proceso geológico, y forma parte de un sistema hidrológico de microcuencas (GDF 2000).

Las barrancas que no se encuentran perturbadas por el ser humano, sirven de refugio de vida silvestre, de cauce de los escurrimientos naturales de ríos, riachuelos y precipitaciones pluviales, y constituyen zonas importantes de los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos (GDF 2000). Estas deben conservarse por los servicios ambientales que prestan a la población tales como la recarga de acuíferos, los corredores naturales, las zonas de amortiguamiento del impacto que las actividades de la ciudad genera, el aporte de oxígeno y el mantenimiento del equilibrio hídrico.

La zona poniente donde se localiza el sistema de barrancas, está integrada principalmente por las delegaciones Álvaro Obregón, Cuajimalpa de Morelos, La Magdalena Contreras y Miguel Hidalgo (figura 1).

Méndez-Cárdenas, M.G., M.C. Bastida-Garza y G.I. Lozano-Mascarúa. 2016. Áreas de valor ambiental. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.313-323.

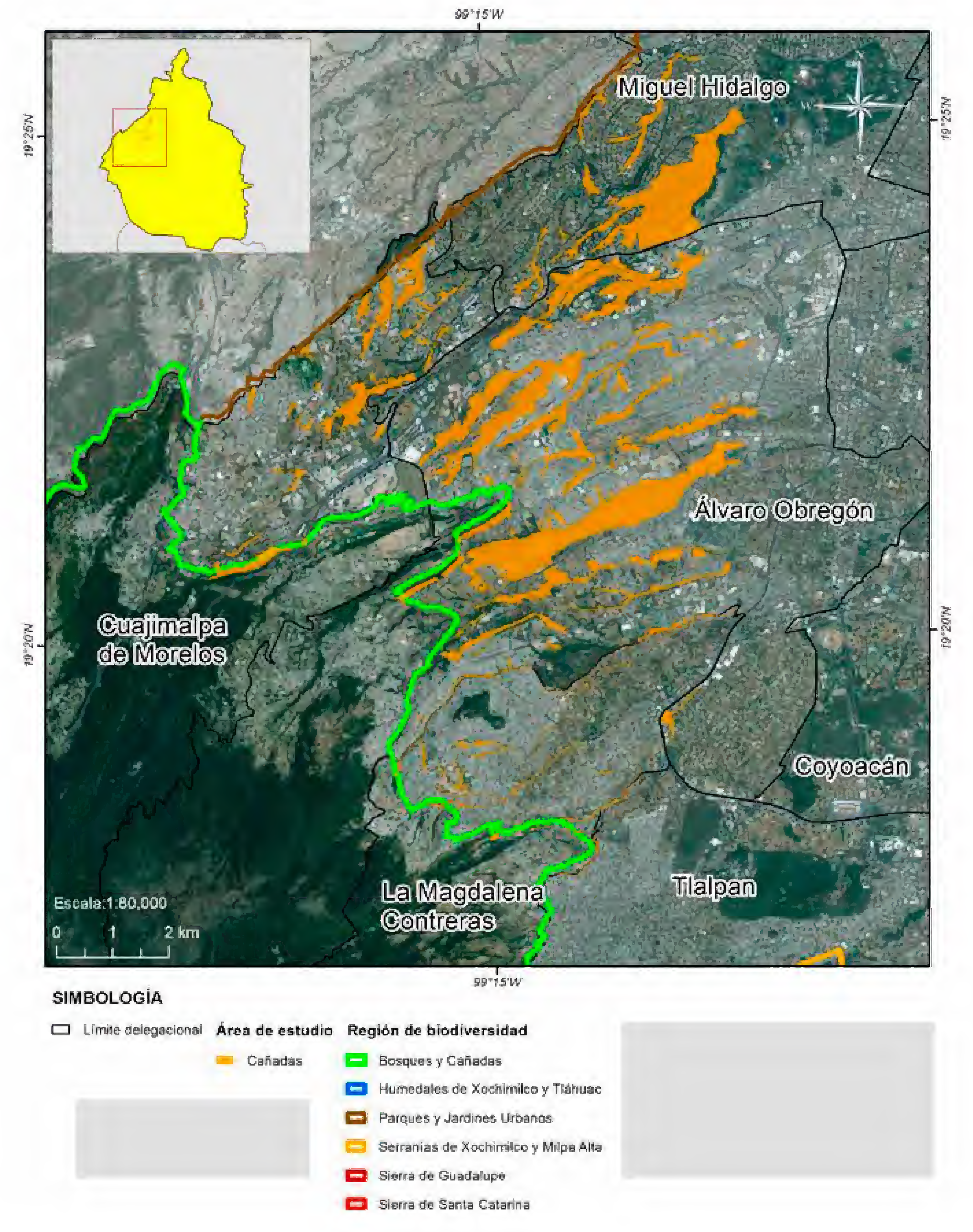


Figura 1. Barrancas del poniente de la Ciudad de México. Fuente: Elaboración propia con información de SMA 2010.

Manejo

La Secretaría del Medio Ambiente (SMA) actualmente SEDEMA, realizó un estudio que es la base para la elaboración del programa de manejo de las barrancas denominado, Sistema de Análisis y Directrices para el Manejo de las Barrancas Urbanas del Poniente del Distrito Federal (SMA 2008); en el presente trabajo se hace un diagnóstico del mismo.

El objetivo general de dicho estudio es la recuperación de las barrancas del poniente de la ahora Ciudad de México y en específico: proteger y conservar los ecosistemas; evitar el cambio de uso de suelo de conservación en uso habitacional, comercial, industrial y los expresamente prohibidos por el programa de manejo (PM) de cada AVA; restaurar el valor ambiental; realizar un aprovechamiento sustentable e implementar programas de manejo de forma participativa (figura 2). Con esto y por primera vez en la historia del país, se tienen los instrumentos para la recuperación de barrancas.

En el PM se determinan la localización y delimitación de las barrancas mediante polígonos territoriales precisos y se identifican diversos elementos que son indicadores que determinan su valor ambiental (SMA 2012*b*), como: bosque, sotobosque, suelo, agua, aire, biodiversidad e infiltración. Estos siete indicadores están interrelacionados, por lo que su caracterización y protección requiere de trabajo y estudio transdisciplinario, a través de:

1) estudios hidrológicos calculando su aportación de agua en millones de metros cúbicos por año;
2) estudios geológicos determinando las características que permiten la infiltración, captación, así como indicadores de erosión y azolve de infraestructuras reguladoras de cursos de agua, tales como vasos y presas reguladoras y almacenadores de agua de lluvia;
3) estudios sobre recuperación del suelo, que permitan mantener los bosques, los cuales a su vez sustentan el ecosistema completo;
4) estudios de flora, tanto por su densidad, como por la generación de oxígeno y captura de carbono estimado y otros gases de efecto invernadero (GEI) tales como el dióxido de carbono (que se produce por quema de combustible fósil y la deforestación), el metano (de origen natural se produce por las actividades agropecuarias y manejo de desechos) y el óxido nitroso (se produce por el uso de fertilizantes y quema de combustible fósil), todos ellos, se encuentran relacionados directamente con el cambio climático afectando los ciclos naturales de energía, agua, carbono, oxígeno y nitrógeno;
5) estudios sobre los agentes polinizadores como insectos y dispersores de semillas como la avifauna, utilizados como indicadores de degradación ambiental, tal es el caso de las aves acuáticas en los humedales (SMA 2008)
6) estudios de fauna en general, como indicadores del equilibrio o salud de los ecosistemas, como por ejemplo el estudio de especies endémicas de distribución restringida como los anfibios o bien mamíferos como el zacatuche o el coyote (SMA 2012*a*).

El uso de especies o grupos de especies como indicadores para el monitoreo reflejan las dificultades más amplias de los enfoques de conservación dedicados exclusivamente a las especies. Actualmente, el énfasis de las acciones de conservación deberá enfocarse en los hábitats y las comunidades y en el monitoreo de las características de *composición* (diversidad y abundancia relativa de especies) y *estructura* del hábitat a diferentes escalas; es decir, de las abundancias relativas de todas las especies (*diversidad*) dentro de la comunidad y la manera en que se organizan en zonas o estratos de espacios vitales (Finegan *et al.* 2004). Todas estas aproximaciones, tanto la específica, la de hábitat y la de comunidades ecológicas requieren de metodologías de monitoreo permanente.

Legislación y gestión

La creación de la figura legal de las AVA se aprobó el 30 de enero del 2002, fecha en la que se adicionó a la Ley Ambiental del Distrito Federal, actualmente en su título 4°, capítulo II bis (GDF 2013). Esta misma ley indica que las barrancas y los bosques urbanos de la Ciudad de México son AVA y la Secretaría del Medio Ambiente es la encargada de elaborar un diagnóstico ambiental para la formulación del programa de manejo.

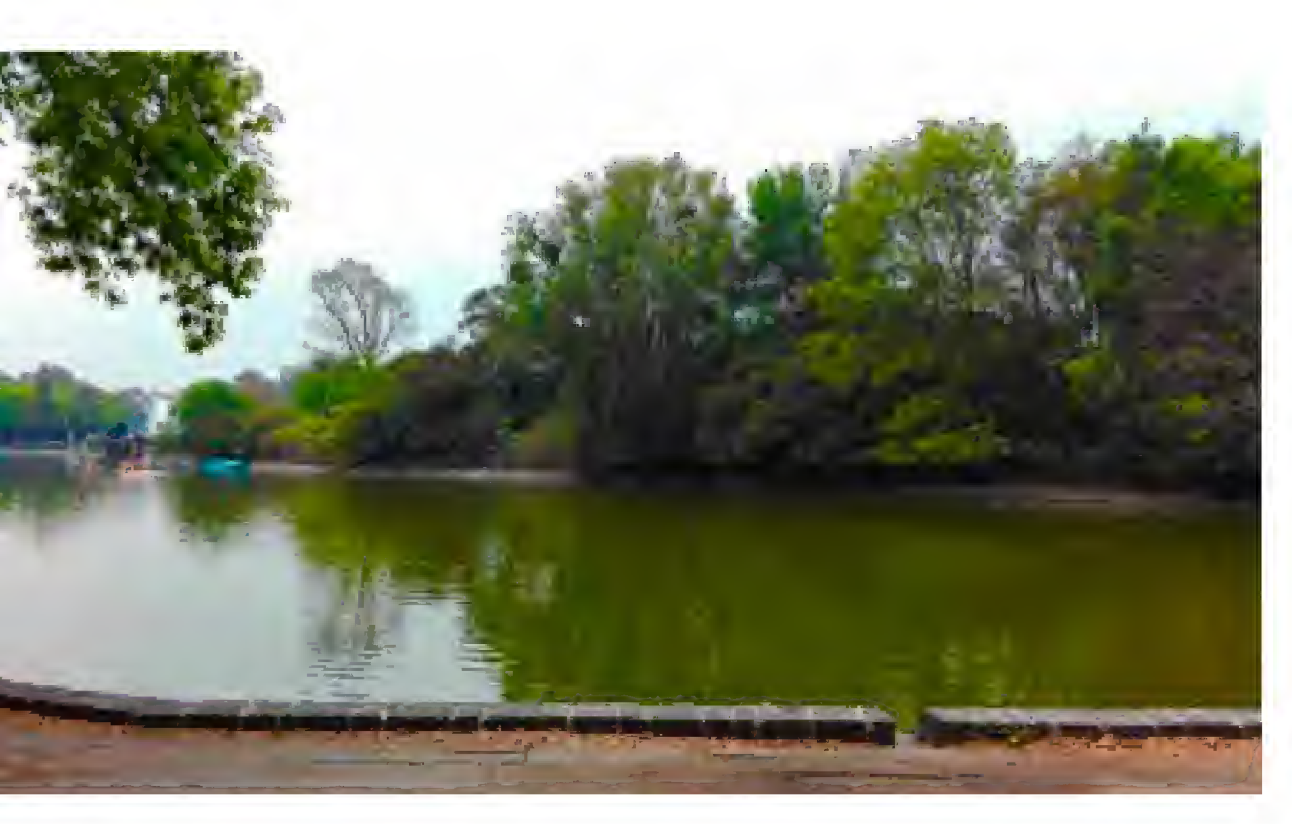




Figura 2. Las áreas de valor ambiental incluyen a)bosques urbanos b) barrancas urbanas. Fotos: a) Concepción Bastida Gasca y b) archivo fotográfico PAOT.

Para decretar un AVA se requiere realizar la siguiente gestión: elaboración del expediente técnico justificativo (ETJ), elaboración de la poligonal del área a decretar, la información generada tiene que ser aprobada por la delegación correspondiente y la poligonal debe ser presentada ante la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (SEDUVI). La SEDUVI tras un análisis, validará su viabilidad y se realizan las gestiones jurídicas correspondientes para ser decretada como AVA (GDF 2000).

Como parte de la estrategia de desarrollo urbano y ordenamiento territorial del Programa General de Desarrollo del Distrito Federal (PGDDF), en materia de ordenamiento y mejoramiento de la estructura urbana, se proyecta evitar la presencia de asentamientos humanos en barrancas y llevar un control de la contaminación, a través de la instrumentación coordinada entre la SEDEMA y las delegaciones políticas, del Programa de Restauración y Manejo de Barrancas (SMA 2012*a*).

Las barrancas no están reglamentadas como un bien específico y con características peculiares. En los distintos ordenamientos jurídicos, federales y locales, sólo se establecieron una gran cantidad de disposiciones que regulan diversos aspectos afines como: el régimen de propiedad, los usos de suelo permitidos, y las obras y actividades específicas que las afectan o que conllevan su aprovechamiento.

Además, en muchos casos no se encuentran delimitadas las zonas federales de los cauces existentes en la entidad, y no aparecen en el Registro Público de la Propiedad inscripciones que proporcionen certeza jurídica. Esta dispersión normativa para regular las barrancas es consecuencia de un régimen de distribución de competencias confuso e impreciso, entre las instancias federales y locales, que ha generado una ausencia de autoridad en las barrancas (PAOT 2011).

Diagnóstico

La escasez de agua, las inundaciones y hundimientos diferenciados que deterioran la infraestructura subterránea y las descargas en ríos de aguas negras que contaminan el manto acuífero o freático, son producto de la falta de planeación territorial específica sobre las actividades humanas, las cuales, históricamente han generado un desequilibrio en los ecosistemas de la cuenca de México. Esta cuenca es endorreica debido a que bajan ríos provenientes de las sierras que la delimitan: Las Cruces, Monte Alto, Monte Bajo al oeste; Chichinautzin al sur; Nevada al este, Tepotzotlan, Tezontlalpan, Pachuca, Las Pitayas y Guadalupe al norte y al interior la región Sierra de Santa Catarina.

El valle de México, antiguamente valle del Anáhuac y considerada la cuenca del Anáhuac, cuenta con 4 subcuencas (dos del Balsas-Mezcala, una del río Lerma-cuenca de Toluca y río Panuco-cuenca Moctezuma) y 15 microcuencas: Magdalena, Mixcoac, Tacubaya, Tlalnepantla, Hondo, San Javier, Chico de los Remedios, San Idelfonso, San Pedro, La Colmena, Cuautitlán, Tepotzotlan, Ameca, San Rafael y Presa Anzaldo. Las microcuencas son la expresión a menor escala de un ecosistema, cuya delimitación se basa en áreas de captación que por subconjuntos, espacialmente contiguos, presentan interconexiones derivadas de la dinámica hidrológica (Mohar 2004).

Estas microcuencas se ubican principalmente como ya se señaló en el poniente de la ciudad, en las delegaciones Álvaro Obregón, La Magdalena Contreras, Miguel Hidalgo y Cuajimalpa de Morelos (SMA 2012*a*). Las afluentes, o ríos que desembocan o confluyen en otro río mayor, y tramos secundarios que desembocan en estas microcuencas, localmente cuentan con nombres distintos y dependiendo de las condiciones socio-urbanas en las que estén inmersos, mantienen características y problemáticas peculiares (SMA 2010*b*). Por ello se encuentran inconsistencias en el número de barrancas pues este cambia sí se considera un solo polígono o se subdivide en polígonos más pequeños (cuadro 1).

Según la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Gobierno de la Ciudad de México (PAOT 2010*a*, *b*) se identifican 44 de los 99 sistemas de barrancas reportados por la SMA distribuidas en las 15 microcuencas antes mencionadas (SMA 2005). A partir de estas barrancas se obtiene 71% de la disponibilidad del agua potable para toda la ciudad y parte de su zona metropolitana (PAOT 2006), debido a que las barrancas están interrelacionadas y cualquier afectación a una zona determinada repercute sobre todo el sistema, es necesario desarrollar estrategias integrales y por regiones o microcuencas.

Según los decretos publicados, existen 33 AVA, de las cuales 28 están clasificadas como barrancas con un área de 1 349.72 ha según los decretos, y de 1 281.17 según la SMA (2012*a*) y cinco son bosques urbanos con un área de 1 050.30 ha en el 2012 pero que disminuyó a 657.33 ha en la actualidad. Es decir, a la fecha se cuenta con un total de 2 007.5 ha protegidas como AVA (cuadro 1).

En cuanto a los bosques urbanos considerados AVA, se reportan seis existentes, en junio de 2014 se derogó el decreto de la Ciudad Deportiva Magdalena Mixhuca; la superficie conocida como bosque de Chapultepec fue decretada en el 2003 como AVA bajo la categoría de bosque urbano, y con una extensión de 686.01 ha, dividida en primera sección (274.08 ha), segunda sección (168.03 ha) y tercera sección (243.90 ha). En el 2004, y presentado como fe de erratas al decreto del 2003, se abrogan los decretos como área natural protegida, de la tercera sección (GDF 2004) y finalmente en octubre del 2008 hubo una derogación al decreto del 2003 como AVA, pero solo en lo que se refiere a un inmueble (cuadro 1). A la fecha se realizaron ajustes de las poligonales por litigios, datos que será necesario actualizar.

Cuadro 1. Áreas de valor ambiental (AVA) en sus categorías de barrancas y bosques.

No.	Barrancas	Fecha de decreto	Delegación	Polígonos (ha)	Superficie (ha)	Superficie SIG CORENA (ha)	Programa de manejo
1	Anzaldo	21/12/11	M. Contreras	16.23	16.2	16.2	
2	Atzoyapan	28/11/12	Álvaro Obregón	20.82	26.5	26.7	
3	Barrilaco	02/12/03	Miguel Hidalgo	29.47	243.9	29.5	
3	Dolores		Miguel Hidalgo	216.46		216.5	
4	Bezares	08/02/12	Miguel Hidalgo	14.02	20.6	14.0	
4	El Castillo		Miguel Hidalgo	6.62		6.6	
5	Coyotera	21/12/11	La M. Contreras	10.62	10.6	10.6	
6	Del Moral	28/11/12	Álvaro Obregón	22.87	23.9	24.0	
7	Echánove	21/12/11	Cuajimalpa	48.54	48.5	48.5	30/11/12
8	El Zapote	01/12/11	Cuajimalpa	10.57	10.6	10.6	30/11/12
9	Guadalupe	28/11/12	Álvaro Obregón	74.14	74.15	74.1	
10	Hueyetlaco	01/12/11	Cuajimalpa	7.72	7.7	7.7	30/11/12
11	Jalalpa	28/11/12	Álvaro Obregón	101.59	64	44.3	
12	La Diferencia	05/07/07* 29/05/08	Cuajimalpa	29.34	29.3	29.3	03/12/12
13	Magdalena, Eslava Teximaloya	28/11/12	La M. Contreras	22.39	22.9	22.8	
14	Margaritas	01/12/11	Cuajimalpa	4.57	4.6	4.6	03/12/12
15	Milpa Vieja	01/12/11	Cuajimalpa	30.89	30.9	30.9	30/11/12
16	Mimosas	01/12/11	Cuajimalpa	3.99	4	4.0	03/12/12
17	Mixcoac	28/11/12	Álvaro Obregón	84.71	77	76.0	
18	Pachuquilla	01/12/11	Cuajimalpa	20.59	19.5	20.6	03/12/12
	Rio Becerra La Loma		Álvaro Obregón			141.9	
19	B. Tepecuache, Secc la Loma	28/11/12	Álvaro Obregón	122.38	119.7		
20	Rio Becerra Tepecuache	03/08/07	Álvaro Obregón	41.22	34.5	31.4	30/11/12
21	San Borja	28/11/12	Álvaro Obregón	23.66	16.9	17.0	
22	Santa Rita	01/12/11	Cuajimalpa	3.03	3	3.0	03/12/12
23	Tacubaya	28/11/12	Álvaro Obregón	158.19	145.6	135.3	
	Tarango1	12/08/08	Álvaro Obregón	267.19*		267.2	10/09/10
24	Tarango, Puente colorado y Puerta Grande	02/09/11	Álvaro Obregón	186.70	186.7		
25	Tecamachalco	23/12/11	Miguel Hidalgo	11.83	11.8	11.8	
26	Texcalatlaco	28/11/12	La M. Contreras	24.42	25.7	25.7	
27	Volta y Koch	28/11/12	Álvaro Obregón	1.82	2.1	2.5	
28	Vista Hermosa	05/07/07	Cuajimalpa	0.32	0.32		04/12/12
	TOTAL			1349.72	1281.17	1353.38	12
	Barrancas	**Fecha de decreto**	**Delegación**	**Superficie decretada (ha)**	**Porcentaje %**		**Programa de manejo**
29	Bosque de Chapultepec2	02/12/03	Miguel Hidalgo	442.11	67.26	Derogado[3]	17/11/06
30	Cerro Zacatepetl	29/04/03	Coyoacán	31.93	4.86		
	Ciudad Deportiva Magdalena Mixhuca	27/09/06	Iztacalco	150.08*		Derogado[4]	
31	Bosque San Luis Tlaxialtemanco	04/08/08	Xochimilco	3.83	0.58		23/07/14
32	Bosque San Juan de Aragon	12/12/08	Gustavo A. Madero	160.18	24.37		
33	Bosque de Nativitas	10/06/10	Xochimilco	19.28	2.93		12/08/14
	TOTAL			657.33	100.00		3

Total de superficie de AVA con categoría de barranca: 1 349.72 ha
[1]Derogada 02/09/2012
[2]En la tercera seccion se estan considerando las barrancas de 243.9 ha, por lo que el area real del bosque debería ser 442.11 ha y no las 686.01
[3]Solo por lo que se refiere al inmueble ubicado en calle Cumbres de Acultzingo número 199, colonia Lomas Altas, delegación Miguel Hidalgo, Distrito Federal. GDF, octubre 2008.
[4]Derogado 9 de junio 2014 GDF.
Fuente: SMA 2008.

Mediante el análisis para corroborar los datos de la SMA (2012*a*) y con base en los decretos sobre la extensión y distribución de barrancas y bosques por delegación se corroboró que, la delegación Álvaro Obregón contiene el mayor porcentaje de hectáreas de barrancas decretadas (62.1%), seguido por Miguel Hidalgo (20.6%), Cuajimalpa (11.8%) y con menor porcentaje la delegación La Magdalena Contreras representando 5.4% (cuadro 2).

Mientras tanto, la distribución de bosques urbanos por delegación muestra que, Miguel Hidalgo con un solo bosque urbano contiene el mayor porcentaje de superficie en hectáreas respecto al total (67.2%), seguido de Gustavo A. Madero (24.3%) y el menor porcentaje para Xochimilco (con dos bosques, 3.5%) y Coyoacán (4.8%) (cuadro 3).

En cuanto a las barrancas en el cuadro 1, el río Becerra la Loma corresponde a la actual clasificación de Becerra Tepecuache sección la Loma (SMA 2012*a*), y a la superficie de Magdalena-Eslava, se le adhirió Teximaloya sin incrementar la superficie total y bajo el mismo decreto. Barrilaco-Dolores se consideran superficies sumadas en una sola barranca al igual que Bezares-Castillo. La barranca La Diferencia disminuyó su superficie en un segundo decreto y la barranca Tarango fue derogada y se dividió en Puerta Grande y Puente Colorado, perdiéndose 80.5 ha de su superficie original quedando 186.70 ha en el decreto del 2011.

De las 44 barrancas reportadas por la PAOT (2010*a*, *b*), se tiene que para la delegación Álvaro Obregón, de las 14 barrancas registradas, cuatro ya no fueron incluidas como AVA en el 2012 por la SMA, estas son: Barranca del Muerto, Malinche, Parque la Loma y Tlalpizahuaya y tres se incluyeron como una sola AVA (No. 24, ver cuadro 1). En Cuajimalpa se reportan 18 barrancas, de las cuales 10 no fueron incluidas como AVA en los decretos del 2011: Aguazul, Arroyo Borracho, Cañada Lomas, Chamixto, Hueyatla, Los helechos, Moneruco, Muculoa, Oyametitla y Santo Desierto; las Margaritas aparece como AVA hasta el 2011.

En La Magdalena Contreras, se reportan seis barrancas, y aunque se incluye la barranca Teximaloya, esta solo forma parte de la barranca Magdalena-Eslava decretada en el 2012, pero no se incrementa la superficie protegida. En Miguel Hidalgo también se reportan seis barrancas, actualmente no se incluye la barranca Cárpatos; de las cinco restantes, cuatro de ellas están incluidas en dos decretos, de dos barrancas cada uno.

Una de las metas en el 2007 fue lograr que se decretaran 33 sistemas con lo que se llegarían a tener 3 500 ha protegidas de barrancas urbanas (INE 2007). Actualmente, el total de hectáreas que no fueron incluidas (1 237.6) representa una superficie similar al total de hectáreas (1 349.72) de las barrancas decretadas (cuadro 1 y 2). Como cada barranca tiene afluentes y tramos con distintos nombres

Cuadro 2. Barrancas por delegación.

Delegación	Barrancas	ha	Porcentaje %	Plan de Manejo	Barrancas no incluidas[1]	ha[2]
Álvaro Obregón	11	838.1	62.09	2	4	363.81
Cuajimalpa	10	159.56	11.82	10	10	780.19
La Magdalena Contreras	4	73.66	5.46	0	*1	
Miguel Hidalgo	3	278.4	20.63	0	**1	93.6
Total	28	1 349.72	100.00	12	16	1 237.6

[1] PAOT 2010*a*,*b* Ocupacion irregualar y riesgo socioambiental en barrancas de la delegacion de Cuajimalpa y Álvaro Obregón.
[2]Suma de las hectáreas de barrancas no incluidas mas las hectáreas que se perdieron de las barrancas incluidas.
* Incluye las hectáreas de Teximaloya, pero no hay información al respecto.
**Hectáreas de la barranca Carpatos que obtuvimos al restar a 372 ha reportadas para las barrancas Dolores, Barrilaco, Tecamachalco, Bezares- Castillo y Cárpatos, las 278.4 decretadas para las cinco primeras.
Fuente: elaboración propia con datos de decretos y de PAOT (2010*a*, *b*).

locales, aquí se mencionan por el nombre con el que son reconocidas por la SMA y se tomó en cuenta la poligonal de los decretos expedidos por la misma, este límite no necesariamente coincide con el límite actual de la barranca.

Biodiversidad

La flora predominante en las barrancas es de tipo boscoso de zonas templadas y frías y tiene elementos representativos como el oyamel o *Abies religiosa* y diversas especies de pino del género *Pinus*. Estas especies conforman bosques naturales o mezclados con otras asociaciones, como pastizales y bosques de encinos (*Quercus* sp.) (SMA 2012*a*, cuadro 3). Por su parte, la fauna silvestre está representada por 58 familias de vertebrados, de las cuales tres corresponden a anfibios, cinco a reptiles, 35 aves y 16 a mamíferos, con una riqueza total de 139 especies (SMA 2012*a*).

Conservación

En la cuenca del Anáhuac (valle de México) uno de los temas de gran importancia debido a su problemática es el agua, elemento que se veía aislado del suelo, los bosques, el aire, el clima, la actividad humana y los servicios públicos. Por ello, el Gobierno de la Ciudad de México propuso una solución articulada en donde se involucren todos los niveles de gobierno de la ciudad y a instancias como: la SEDEMA, la SEDUVI, Protección Civil y la PAOT; a nivel federal la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) y los sectores de la sociedad interesados, con la finalidad de resolver de forma integral esta compleja problemática.

Bajo este contexto el plan verde (SMA 2007*b*) y el Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos, visión 20 años, (PGIRH) (SACM 2012), poseen dentro de sus objetivos alcanzar un equilibrio del acuífero de la cuenca del Anáhuac. Además, desde que se estableció

Cuadro 3. Bosques por delegación.

Delegación	Bosques	Superficie (ha)	Superficie (%)
Coyoacán	1	31.93	4.86
Gustavo A. Madero	1	160.18	24.37
Miguel Hidalgo	1	442.11	67.26
Xochimilco	2	23.11	3.52
Total	5	657.33	100.00

Fuente: SMA 2012*a*.

la agenda ambiental de la Ciudad de México 2007-2012 (SMA 2007*a*) se planteó la meta de decretar 33 barrancas como AVA (ahora 28), localizadas en las 15 microcuencas. En el libro blanco Barrancas urbanas del surponiente del Distrito Federal, Áreas de valor ambiental, se señala como objetivo el contar con un programa de manejo (PM) para su restauración y preservación (SMA 2012*a*); hasta ahora sólo se tienen 12 PM para barrancas y 3 PM para bosques urbanos.

En estos territorios no había políticas de protección y recuperación como AVA. Los beneficios que esto traerá consigo son: incrementar la captación de agua de lluvia para elevar el volumen de agua del acuífero; recuperar los sustratos vegetales que cubren la zona, evitando la erosión; incrementar la masa forestal; mejorar la calidad del aire; conservar la biodiversidad; mejorar la habitabilidad de espacios públicos y promover la participación ciudadana en trabajos de rescate y conservación (SMA 2007*b*).

Algunas de las principales amenazas para las barrancas son: la utilización como vertederos de basura y cascajo; la contaminación de los afluentes y el manto freático a través de drenajes de las comunidades aledañas, la industria y el contacto con lixiviados de rellenos sanitarios cercanos; el entubamiento de agua, que pone en peligro de extinción no solo a las especies sino a gran parte del ecosistema, convirtiendo a las barrancas en drenajes de aguas negras a cielo abierto.

Los asentamientos irregulares de las clases más marginadas se dan en sitios de alto riesgo de derrumbamiento, los cuales además logran su consolidación en una dinámica de

clientelismo político. Existen también, asentamientos irregulares promovidos por inmobiliarias que desarrollan conjuntos habitacionales de grandes dimensiones y costos ante el atractivo de vivir en una zona arbolada y que ingresan al mercado de una forma ilegal. La pérdida de vegetación de las barrancas, que mantienen la estabilidad hídrica de sus escorrentías y la sobreexplotación del sello del acuífero que genera fracturas y grietas de alto riesgo, incrementan la probabilidad de que siga habiendo inundaciones mayores en las zonas bajas y a su vez que haya pérdida del agua potable (PAOT 2006).

El sistema de gestión de barrancas urbanas, permitirá la planeación, seguimiento y evaluación de las acciones de mejoramiento urbano ambiental de estas áreas verdes estratégicas. El funcionamiento y evaluación de las barrancas se realiza con imágenes satelitales y medios de percepción remota, que permiten ubicar sitios de alto riesgo hidrológico, conocer el grado de consolidación urbana, la cobertura vegetal existente y otros elementos. De tal manera que nos permiten detectar los sitios más vulnerables en el poniente de la entidad y que requieren mayor atención para la conservación de su biodiversidad (SMA 2010) (cuadro 1).

La caracterización de las barrancas del poniente de la Ciudad de México revela datos importantes como, el hecho de albergar 50% de las especies endémicas (algunas raras o difíciles de encontrar) de la avifauna de la entidad (SMA 2012*a*). Las barrancas son un importante refugio para las aves así como para la fauna y flora adaptada para nacer, desarrollarse y vivir en las orillas de los ríos, la vegetación ribereña o riparia (tulares, ahuejote) y además son un patrimonio natural para los habitantes de la capital.

Los retos que en general enfrentan las áreas naturales y en particular las AVA son: lograr conservar y mantener su extensión actual; realizar un manejo adecuado para que provean servicios ambientales de calidad acordes a las necesidades de salud ecológica y humana; detener la constante transformación del uso del suelo debida a la demanda creciente de servicios públicos y de equipamiento como consecuencia de la urbanización; y promover una nueva cultura ciudadana para la valoración, cuidado y disfrute de los espacios verdes. Aunque su creación es más reciente que la de las ANP, en particular la conservación de barrancas, podría resolver o mitigar la problemática del agua, la infiltración de la misma a los mantos acuíferos y capturar bióxido de carbono a través de la vegetación que albergan, así como conformar espacios que contribuyan a la salud psicosocial e integración comunitaria.

Recomendaciones

Las principales acciones que se deben llevar a cabo para consolidar la restauración, conservación y protección de las AVA y en particular las barrancas, algunas de ellas también señaladas en los lineamientos para la elaboración de programas de manejo de las AVA de la Ciudad de México (SMA 2012*a*) son las siguientes (PAOT 2006):

a) Unificar los criterios de los instrumentos usados para la zonificación y uso de suelo de los distintos programas tanto locales como federales, debido a que tanto los programas delegacionales, de desarrollo urbano de la SEDUVI, así como el Programa General de Ordenamiento Ecológico, contienen disposiciones ambiguas sobre la zonificación y usos de suelo.
b) Definir e implementar coordinadamente programas de restauración de barrancas, con los diversos actores involucrados.
c) Llevar a cabo un monitoreo permanente de la estructura y composición del hábitat a diferentes escalas.

Las poligonales de todas las barrancas están sujetas a modificaciones en sus superficies, debido a que hay áreas que pueden integrarse o excluirse de acuerdo a los usos de suelo que

van estableciendo los respectivos programas (programas generales de ordenamiento ecológico, de desarrollo urbano, los delegacionales de desarrollo urbano y en su caso los Programas Parciales), y la posibilidad de reubicar (según su viabilidad) o regularizar asentamientos irregulares considerando su grado de consolidación (antigüedad), será de vital importancia para la toma de decisiones la constante actualización de esta información a través de:

a) Complementar y actualizar el inventario de barrancas y de asentamientos humanos irregulares y tener disponibles a todo el público las poligonales en un sistema de información geográfica (SIG), haciendo un levantamiento integral de cada tramo de las barrancas para darles un tratamiento específico.
b) Implementar un SIG accesible al público, que contenga indicadores de afectación de las barrancas y sus programas de manejo correspondientes.
c) Incrementar la vigilancia comunitaria en las barrancas para evitar y reaccionar eficazmente ante los delitos ambientales principalmente de asentamientos irregulares, descargas de aguas residuales y depósito de cascajo.
d) Revisar la congruencia entre lineamientos de las distintas legislaciones que inciden en el territorio de las barrancas, reforzando el marco jurídico y administrativo; transparentando los procedimientos y las atribuciones de las instancias involucradas.

Para lograr el rescate de la barrancas, es necesario que se lleven a cabo convenios de colaboración entre las instituciones, universidades y los sectores sociales, siendo las comunidades que viven en las cercanías y los especialistas tanto en el contexto ecológico como social, los principales actores en las actividades encaminadas al rescate de las AVA para lograr un trabajo de carácter transdisciplinario que garantice el éxito de los proyectos.

Conclusión

Sin duda alguna, la creación de la figura área de valor ambiental (AVA) es un gran paso en materia de conservación, debido a que se empiezan a considerar zonas que en algún momento pasaron desapercibidas, pero que poseen importancia biológica y ambiental. Actualmente, las AVA enfrentan la creciente problemática asociada a la contaminación, pérdida de la biodiversidad, incremento de los asentamientos humanos, falta de conciencia ciudadana referente al tema, carencia de planes de manejo y recursos para su instrumentación y la derogación de decretos en algunas zonas, además de la contraposición de instrumentos de zonificación y uso de suelo.

Las AVA requieren de la implementación de programas integrales enfocados a su recuperación y conservación, además de fuentes de financiamiento que permitan el seguimiento a dichos programas. Se requieren homologar los criterios de zonificación y uso de suelo, garantizando así la protección de los recursos. A través del uso sustentable de las AVA se puede conciliar el desarrollo socio-económico de las comunidades con el beneficio ecológico que proveen estas áreas.

Las acciones que se lleven a cabo en áreas de valor ambiental, deben incrementar no solo el número de AVA decretadas, si no la superficie total protegida, implementar planes de manejo y programas de registro y monitoreo de flora y fauna silvestre e indicadores de calidad ambiental. Además, las acciones de restauración y conservación requieren de sensibilizar a las poblaciones aledañas, para dar valor e importancia a los servicios ambientales que ofrecen las AVA a dichas poblaciones y a toda la ciudad. Lo anterior sólo se logra a través de la educación ambiental de las comunidades y su implicación en el cuidado de las mismas, creando escenarios a futuro en donde se incorporen las prioridades de comunidades ecológicamente conscientes (INE 2007).

Referencias

Finegan, B., J.P. Hayes, D. Delgado y S. Gretzinger. 2004. Monitoreo ecológico del manejo forestal en el trópico húmedo: una guía para operadores forestales y certificadores con énfasis en bosques de alto valor para la conservación. CATIE/PROARCA/APM, San José, Costa Rica. En: <*http://biblioteca.catie.ac.cr/comunicacion/Publicaciones/Ecologia/1.pdf*>, última consulta: 17 de noviembre de 2015.

GDF. Gobierno del Distrito Federal. 2000. Ley Ambiental del Distrito Federal. Publicada el 12 de enero del 2000 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

——. 2004. Fe de erratas al decreto por el que se declara como área de valor ambiental del distrito federal al bosque de Chapultepec. Publicada el 2 de diciembre de 2003 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

——.2013. Ley Ambiental de Protección a la Tierra en el Distrito Federal. Publicada el 19 de septiembre de 2013 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

INE. Instituto Nacional de Ecología. 2007. Memorias del taller Barrancas urbanas: soluciones a la problemática ambiental y opciones de financiamiento. En: <*http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/mem_barrancas_urbanas_final*>,última consulta: 17 de noviembre 2015.

Mohar, A. 2004. Propuesta para la incorporación en los programas delegacionales de desarrollo urbano de regulaciones ambientales para el ordenamiento del territorio en el suelo de conservación. 16 de Agosto 2004; En: afectación de las barrancas del Distrito Federal. PAOT. México.

PAOT. Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Gobierno del Distrito Federal. 2006. Afectación de las Barrancas del Distrito Federal. PAOT, México.

——. 2010*a*. Ocupación irregular y riesgo socioambiental en barrancas de la delegación de Cuajimalpa de Morelos, Distrito Federal. PAOT, México

——. 2010*b*. Ocupación irregular y riesgo socioambiental En Barrancas de la Delegación de Álvaro Obregón, Distrito Federal. PAOT, México.

——. 2011 Informe Anual. PAOT, México.

SACM. Sistema de Aguas de la Ciudad de México. 2012. Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos, visión 20 años, (PGIRH). Publicado en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 11 de diciembre de 2012. Texto vigente.

SMA. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2005. Gestión de barrancas urbanas del Distrito Federal, conservación, protección y restauración de las barrancas perturbadas por el desarrollo urbano, Dirección General de la Unidad de Bosques Urbanos y Educación Ambiental, presentación en power point, 31 de enero de 2005.

——. 2007*a*. Agenda Ambiental de la Ciudad de México. Programa de Medio Ambiente, 2007-2012. SMA, México.

——. 2007*b*. Plan Verde de la Ciudad de México. En: <*http://www.om.df.gob.mx/programas/plan_verde/plan_verde_vlarga.pdf*>, última consulta: 17 de noviembre 2015.

——. 2008. Sistema de análisis y directrices para el manejo de las barrancas del poniente del Distrito Federal. SMA, México,

——. 2010. Inventario de áreas verdes urbanas. En: <*http://www.sma.df.gob.mx/ drupc/ index.php?opcion =5*>, última consulta: 2 de noviembre de 2012.

——. 2012*a*. Barrancas urbanas del surponiente del Distrito Federal, áreas de valor ambiental. SMA, México.

——. 2012*b*. Acuerdo por el que se expiden los lineamientos para la elaboración de programas de manejo de las áreas de valor ambiental del Distrito Federal, con categoría de barranca. Publicado el 27 de noviembre de 2012, en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

Conservación de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura

María Guadalupe Méndez Cárdenas
Martha Beatriz Vega Rosales

Descripción

Los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura (RFFA) se definen como la diversidad del material genético contenido en las variedades de cultivos tradicionales y cultivos modernos (sembrados por los agricultores con el apoyo de herramientas tecnológicas), así como en las especies de plantas silvestres relacionadas genéticamente con las variedades cultivadas, además de aquellas que pueden ser utilizadas para obtener alimentos, forrajes, medicamentos, fibras, madera, energía, etc. (Klooster 2000, SAGARPA 2012). Los RFFA se diferencian de otros recursos genéticos porque su evolución es el resultado de la selección natural y las interacciones humanas, genéticas y ambientales, que después de miles de años, culminaron en la diversidad genética que existe actualmente dentro y entre cada especie (Halewood y Nnadozie 2008, Moran *et al*. 2010). Esta diversidad resultante se encuentra adaptada a las condiciones ambientales y está moldeada por las necesidades del ser humano; su pérdida traería consigo una serie de consecuencias tanto a nivel medioambiental como económico y podría afectar negativamente el desarrollo agrícola, la seguridad alimentaria mundial y la estabilidad en los ecosistemas de los que forman parte (Martín 2001).

Regulación

El desarrollo de estrategias para la conservación y utilización sostenible de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura es uno de los mayores objetivos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés). Esta propuesta quedó plasmada en el Convenio sobre Diversidad Biológica y la Agenda 21 (CDB 1992). Estos documentos plantean claramente el papel estratégico que tiene la conservación *in situ* y *ex situ* (dentro y fuera de su hábitat, respectivamente), así como la utilización sostenible de la diversidad biológica.

Algunas estrategias de conservación *in situ* que sugiere la FAO para los RFFA son: 1) establecer medidas específicas de conservación para las plantas silvestres afines a las cultivadas y para las productoras de alimentos, particularmente en las zonas protegidas; 2) implementar políticas que regulen el uso de suelo de manera sostenible, en las zonas sometidas a explotación de los recursos, tales como pastizales y bosques; 3) conservar las variedades tradicionales o locales cultivadas en los predios agrícolas y en huertos domésticos (FAO 1996a). Además de lo anterior, se propuso un aumento de los recursos destinados a la conservación *ex situ*, especialmente en los países en desarrollo (FAO 1996a).

Paralelo a estas acciones, la FAO estableció el Plan de Acción Mundial para la Conservación y la Utilización Sostenible de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (FAO 1996*a*). Este documento fue elaborado por más de 155 países y contiene las medidas, propuestas y desafíos para la conservación y la

Méndez-Cárdenas, M.G. y M.B. Vega-Rosales. 2016. Conservación de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.324-330.

utilización de estos recursos. Una de las cuatro prioridades que establece es la conservación y el mejoramiento *in situ* (FAO 1996*b*), en donde se describen cuatro acciones por desarrollar: 1) estudiar e inventariar los RFFA, 2) apoyar la ordenación y mejoramiento de los recursos fitogenéticos en predios agrícolas, 3) asistir a los agricultores en casos de catástrofe para restablecer los sistemas agrícolas y 4) promover la conservación *in situ* de las especies silvestres afines de las cultivadas y las plantas silvestres para la producción de alimentos.

En el nivel nacional, en el 2006 la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y la Sociedad Mexicana de Fitogenética (SOMEFI) publicaron el primer diagnóstico de los RFFA en México. En este informe se identificaron los RFFA existentes, su utilidad, las estrategias *in situ* y *ex situ* de conservación, el flujo de germoplasma, así como las instituciones y la creación de capacidades para su conservación (SAGARPA-SOMEFI 2006).

Uno de los avances más significativos en este ámbito fue la creación del Centro Nacional de Recursos Genéticos (CNRG) en 2009, dicho centro se instauró con la finalidad de depositar los recursos y de resguardar así la riqueza fitogenética del país. El CNRG cuenta con una gran colección de muestras, entre la que hay plantas, semillas y esporas de especies que poseen importancia agrícola. Actualmente, el inventario del CNRG sobrepasa las 35 mil muestras (FAO 1996*a*, SAGARPA-SOMEFI 2006, INIFAP 2012).

Asimismo en el 2012, la SAGARPA, a través del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), creó el Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI). Este tiene como propósito primordial, integrar las acciones y proyectos desarrollados en las diferentes instancias vinculadas con los RFFA, planteando como principal componente la integración de redes para precisar una guía de desarrollo sostenible de estos recursos (por especie o por región). Esta establece las estrategias y prioridades nacionales con impacto en la toma de decisiones en los niveles local e internacional, para asegurar la conservación de estos recursos (SAGARPA 2006, SAGARPA-UGOCP 2010, SAGARPA 2012).

De manera específica, en la entidad, la Secretaría de Desarrollo Rural y Equidad para las Comunidades (SEDEREC) ha implementado el Programa de Desarrollo Agropecuario y Rural en la Ciudad de México, en el cual se describen las acciones que debe realizar, de manera conjunta, el gobierno de la ciudad con los agricultores (FAO 1996*a*). Dentro de sus líneas programáticas, se encuentra la capacitación y asistencia técnica de los agricultores, así como el apoyo para los cultivos nativos de maíz (*Zea mayz*, figura 1), nopal (*Opuntia* spp.) y amaranto (*Amarhanthus* spp.) (SEDEREC 2012, GDF 2013).

En seguimiento a este programa, en el 2013 se aprobó una inversión de 2 millones 900 mil pesos correspondiente a 55 proyectos, dentro de los cuales se contempla el fomento de las buenas prácticas agrícolas del nopal, así como proyectos para la producción primaria y estudios nutrimentales del amaranto. En el caso del maíz se destinaron 3 millones de pesos para la adquisición de semillas y fertilizantes biológicos y orgánicos, con el fin de beneficiar a al menos mil hectáreas de zonas de cultivos (GDF 2013).

Diagnóstico

En México, existe un gran número de agricultores de escasos recursos que al mantener las variedades locales tradicionales, sin proponérselo, conservan la diversidad genética a través de sus prácticas. Esto sucede de igual manera al sur de la ciudad, en las zonas de Tulyehualco, Milpa Alta, Xochimilco y Tláhuac, en donde se siembran variedades tradicionales, tales como el nopal (*Opuntia* spp., figura 2), el amaranto (*Amarhanthus* spp.), la nochebuena (*Euphorbia pulcherrima*), los romeritos (*Suaeda torreyana*), la verdolaga (*Portulaca oleracea*), el capulín (*Prunus*



Figura 1. Variedades de cultivos nativos de maíz (*Zea mayz*). Foto: Adalberto Ríos Szalay/Banco de imágenes de CONABIO.

salicifolia), la avena forrajera (*Avena sativa*) y el brócoli (*Brassica oleracea*) (Lépiz-Ildefonso y Rodríguez-Guzmán 2006). La conservación de la diversidad genética en estas zonas se obtiene gracias a que los agricultores seleccionan aquellas semillas de la cosecha que reúnen determinadas características para sembrarlas de nuevo.

Amenazas

Lamentablemente, y pese a la importancia de dichas zonas y actividades en el sur de la ciudad, tan sólo de 1980 a 2007 se presentó una marcada tendencia de cambio de uso de suelo agrícola a urbano. Esto dio paso al incremento de viviendas urbanas, con la consecuente reducción de zonas agrícolas y la pérdida de conocimientos y prácticas tradicionales para la agricultura (PAOT 2010*b*, San Miguel 2010, SEDEREC 2012).

Además de la reducción de estas zonas, actualmente los RFFA indispensables para el desarrollo agrícola y la seguridad alimentaria, presente y futura, se ven amenazados por el uso excesivo de herbicidas, las prácticas de pastoreo no sostenible y el uso de variedades con poca base genética (monocultivos) (Martín 2001, FAO 2010*a*). Estos últimos han ido sustituyendo y desplazando de manera preocupante a las variedades tradicionales, lo que ha ocasionado la pérdida irreversible de genes y, por ende, de especies y variedades (Halewood *et al*. 2005).

Esta pérdida de RFFA tiene como principales consecuencias la incapacidad de los cultivos para adaptarse a los cambios medioambientales, así como el aumento de la susceptibilidad a plagas o enfermedades, hechos que incrementan las posibilidades de pérdidas generalizadas de cultivos (FAO 1996a, Martín 2001).

Un claro ejemplo de la introducción de variedades nuevas modificadas genéticamente, con la consecuente substitución de las especies tradicionales, es el caso del maíz (*Zea mays*). Algunos de los supuestos factores que influenciaron su introducción, fue que las variedades modificadas presentan un mejor precio a la venta, con un alto índice de productividad, en comparación con las variedades tradicionales (INECC 2008).



Figura 2. Procesamiento y venta de nopal en Milpa Alta (*Opuntia* spp.). Foto: Iván Montes de Oca/Banco de imágenes de CONABIO.

Otro problema al que se enfrentan los RFFA, principalmente las especies silvestres, es la falta de programas y zonas designadas a su conservación, ya que la mayoría de los RFFA se encuentran en áreas cuyos recursos se explotan o pertenecen a la propiedad común (pastizales, bosques o fincas) y, por lo tanto, no cuentan con ningún tipo de protección legal (Martín 2001, FAO 2010*a*). En general, la conservación *in situ* es un resultado secundario e imprevisto de los esfuerzos de conservación enfocados a otras especies (FAO 1996*a*, Martín 2001, FAO 2010*a*).

Lamentablemente, los lineamientos del uso de suelo establecido en los programas delegacionales de desarrollo urbano se contraponen a los determinados en el Programa de Ordenamiento Ecológico del antes Distrito Federal (GDF 2000), lo que ocasiona la emisión de permisos diferentes y contradictorios para la planificación y el ordenamiento del suelo de conservación. Una consecuencia de esto es la expansión urbana en dicho suelo, lo que ha originado la pérdida de los RFFA localizados en las zonas protegidas. Un ejemplo de lo anterior son los humedales de Xochimilco y Tláhuac, en donde la construcción de la Línea 12 del Sistema de Transporte Colectivo Metro, con el consecuente crecimiento urbano, puede generar la pérdida de conexión entre estos humedales; sin embargo, pese a la importancia de estas zonas, hasta la fecha no están documentados los efectos colaterales originados por dicha construcción (PAOT 2010*b*).

Conservación

Con el aumento de la presión demográfica y la reducción de la superficie de terreno disponible para la agricultura, es necesario incrementar la producción de alimentos de manera optimizada y conseguir una distribución más equitativa de la tierra (Rivas 2001). En esta línea de acción, el uso sostenible es un componente importante de los programas de conservación dinámica, a los que pueden integrarse, en la mayoría de los casos, usos agrícolas, ecoturismo y el desarrollo de nuevos productos como estrategias de conservación (Rivas 2001).

En este contexto, una de las líneas del Programa de Desarrollo Agropecuario y Rural en la Ciudad de México es la de cultivos nativos, y dentro de las acciones que se han establecido para la protección de dichos recursos, se encuentra el Proyecto de Rescate de Maíces Criollos, Transferencia de Tecnología y Diversificación Productiva. En este proyecto se proponen tres líneas de investigación o subproyectos: 1) conservación *in situ* y rescate de maíces criollos y nativos, 2) validación y transferencia de tecnología de maíces mejorados para valles altos y 3) proyecto de parcelas demostrativas de maíz intercalado de árboles frutales (MIAF), que se encuentren en parcelas de media hectárea y que consisten en pruebas de validación para identificar mejores rendimientos en las zonas altas de la Ciudad de México (SEDEREC 2009). Cabe mencionar que estos proyectos se llevan a cabo bajo un convenio con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Con la finalidad de lograr la certificación por parte del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), se han desarrollado proyectos sobre el uso de la composta mediante parcelas piloto en un programa coordinado con la UAM-Xochimilco, así como sobre la elaboración de materia orgánica de los propios productores (SEDEREC 2012). Asimismo, se cuenta con una declaratoria y un programa protección de las razas de maíz del altiplano mexicano para la entidad (GDF 2009*a*, 2009*b*).

Conclusión

Las prácticas agrícolas tradicionales en la conservación de esta variabilidad genética representan una fuente de conocimiento invaluable; sin embargo, estos procesos no están completamente documentados, por lo cual es importante iniciar proyectos concretos, para respaldar y fomentar la ordenación, conservación y mejoramiento de los RFFA en los predios agrícolas.

Para la agricultura, al igual que para muchas actividades productivas, la conservación *in situ* es la base de cualquier propuesta de desarrollo sostenible (Parry 1992, Prance 1997). Determinar las áreas o ecosistemas por proteger requiere de estudios enfocados a los procesos ecológicos de los mismos cultivos, así como de trabajos que revelen los patrones de distribución de los RFFA con base en las interacciones con otros organismos y su medioambiente. Ante la perspectiva de un cambio climático globa ya que se requerirá un mayor conocimiento sobre la capacidad de adaptación para asegurar la conservación de estos recursos y garantizar la seguridad alimentaria mundial.

Se recomienda complementar las acciones de conservación fuera del hábitat (*ex situ*) con aquellas que se realizan dentro de los ecosistemas, comunidades vegetales o áreas agrícolas (*in situ*); ya que una parte primordial para la conservación exitosa de los RFFA es mantener la continuidad de los procesos de interacción y evolución recíprocos que se llevan a cabo entre las plantas con otros organismos (herbívoros, insectos, microorganismos, etc.) (Frankel *et al.* 1995, INECC 2008, FAO 2010*a*).

Cabe destacar que la pérdida en la variabilidad genética posee un gran impacto en la adaptación y vulnerabilidad de los cultivos, y que el uso cada vez más frecuente de monocultivos ha causado una disminución en la variabilidad de los RFFA, así como la sustitución de algunas especies nativas, lo que ha puesto en riesgo la presencia de RFFA y, por consecuencia, la seguridad alimentaria mundial.

Referencias

CDB. Convenio sobre la Diversidad Biológica. 1992. En <*http://www.un.org/es/events/biodiversityday/convention.shtml*>, última consulta: 17 diciembre 2012.

FAO. 1996*a*. *Informe sobre el estado de los recursos fitogenéticos en el mundo*. En: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/016/aj633s.pdf.>, última consulta: 13 de enero 2013.

——. 1996*b*. Plan de Acción Mundial para la Conservación y la Utilización sostenible de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura. En <*ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/016/aj631s.pdf.*>, última consulta: 27 enero 2013.

——. 2010*a*. Segundo Informe sobre el estado de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura en el mund. Pp. 31-36. En: *Cap. 2: El estado del manejo* in situ.

——. 2010*b*. Segundo Informe sobre el estado de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura en el mundo. Pp. 55-59. En: *Cap. 3: El estado del manejo ex situ*.

Frankel, O.H., A.H.D. Brown y J.J. Burdon. 1995. *The conservation of plant biodiversity*. Cambridge University Press.

GDF. Gobierno del Distrito Federal. 2000. Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal. Publicado el 1 de agosto del 2000 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

——. 2009*a*. Declaratoria de Protección de las razas de maíz del Altiplano de México, cultivadas y producidas en suelo de conservación del Distrito Federal. Publicada: 25 de febrero de 2009 en en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

——. 2009*b*. Programa de protección de las razas del altiplano mexicano para el Distrito Federal. Publicada el 20 de octubre del 2009 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

——. 2013. Primer informe de gobierno 2012-2013: Capital en desarrollo: Comunidades Rurales y Sector Agropecuario. En: <*http://www.sederec.df.gob.mx/SEDEREC_PRIMER_INFORME.pdf*>, última consulta: 19 de agosto de 2013.

Halewood, M., S. Gaiji y H. Upadhyaya. 2005. *Germplasm flows in and out of Kenya and Uganda through the cgiar: A case study of pattern of exchange and use to consider in developing national policies*. IPGRI/ICRISAT.

Halewood M. y K. Nnadozie. 2008. Giving priority to the commons: the international treaty on plant genetic resources for food and agriculture (ITPGRFA). Pp. 115-140. En: the future control of food a guide to international negotiations and rules on intellectual property, biodiversity and food security. G. Tansey y T. Rajotte (eds).

INECC. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 2008. Agrobiodiversidad en México: el caso del maíz. En: <*http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/agrodiversidad.pdf*>, última consulta: 20 de septiembre 2013.

INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. 2012. Centro Nacional de Recursos Genéticos. En: <*http://www.inifap.gob.mx/SitePages/centros/cnrg.aspx*>, última consulta: 19 de agosto de 2015.

Klooster, D. 2000. Institutional choice, community, and struggle: a case study of forest co-management in Mexico. *World Development* 28(1):1-20.

Lépiz, I.R. y E. Rodríguez Guzmán. 2006. Los recursos fitogenéticos de México. Pp. 13-29. En: *Recursos fitogenéticos de México para la alimentación y la agricultura: informe nacional*. M. Molina y L. Córdova (eds.). SAGARPA/Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C./Chapingo, México.

Martín, I. 2001. Conservación de Recursos Fitogenéticos. Centro de Recursos Fitogenéticos. Hojas de divulgación del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. En: <*http://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/publicacionesonline/2009/eventosseae/cds/congresos/actasbullas/seae_bullas/verd/sesiones/7%20S2A.%20BIODIV/sesion7Inventario.pdf*>, última consulta: 19 de agosto de 2015.

Moran H. y R. Soriano-Robles. 2010. Diversidad biológica en la agricultura periurbana del Distrito Federal, México. Área de Investigación de Desarrollo Agropecuario Sustentable, UAM. *Atelie Geográfico* 4(2).

PAOT. Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial. 2010*a*. Estudio sobre la zona de transición entre suelo urbano y suelo de conservación en el Distrito Federal: Incompatibilidades de uso de suelo. México. En: <*http://www.paot.org.mx/centro/ceidoc/archivos/pdf.*>, última consulta: 20 de diciembre 2012.

——. 2010*b*. Estudio espacio-temporal del uso del suelo en el área localizada entre el trazo de la línea 12 del metro y el sitio ramsar 1363. En: <*http://centro.paot.mx/documentos/paot/estudios/Estudio_RAMSAR _2010.pdf*>, última consulta: 20 de enero 2013.

Parry, M. 1992. The potential effect of climate change on agriculture and land use. *Advances in Ecological Research* 22:63-91.

Prance, G.T. 1997. The conservation of botanical diversity. Pp.3–14. En: *Plant Genetic Conservation. The in situ approach*. N. Maxted, B.V. Ford-Lloyd y J.G. Hawkes (eds.). Chapman & Hall.

Rivas, M. 2001. *Estrategia en recursos fitogenéticos para los países del Cono Sur: Aspectos de orden técnico: Conservación in situ de los recursos filogenéticos*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Edit Orton IICA.

SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2012. *Informe de rendición de cuentas de la administración pública federal* 2006-2012. Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI).

——. 2006. Plan de acción nacional para la conservación de los recursos fitogéneticos para la alimentación y la agricultura. México, Chilpancingo. En: <*http://www.sinarefi.org.mx/inicio/Plan%20de%20Acci%C3%B3n%20Nacional.pdf*>, última consulta: 31 enero 2013.

SAGARPA-SOMEFI. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Sociedad Mexicana de Fitogenética. 2006. Segundo Informe Nacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura de México. SAGARPA/Sociedad Mexicana de Fitogénetica.

SAGARPA-UGOCP. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Unión General Obrera, Campesina y Popular. 2010. Fitomejoramiento participativo en granos básicos como herramienta para el fomento de la seguridad alimentaria y la conservación de la diversidad genética. En: <*http://www.fao.org.mx/Proyectos/3201%20PRODOC.pdf*>, última consulta: 19 de agosto de 2015.

San Miguel Villegas, R.T. 2010. *La expansión urbana en suelo de conservación en la delegación de Tláhuac*. Tesis de maestría en población y desarrollo. Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO). México.

SEDEREC. Secretaría de Desarrollo Rural y Equidad para las Comunidades. 2009. *Tercer informe de labores. Desarrollo rural, equidad para las comunidades y atención a migrantes*. En: <http://www.transparencia.df.gob.mx/work/sites/vut/resources/LocalContent/305/1/Informe2009.pdf>, última consulta: 22 de enero 2013.

——. 2012. Programa de desarrollo agropecuario y rural en la ciudad de méxico. En: <*http://www.sederec.df.gob.mx/desarrollo_agropecuario.html.*>, última consulta: 29 de enero 2013.

Unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre

Ma. Guadalupe Méndez Cárdenas
José Bernal Stoopen
Martha Beatriz Vega Rosales

Descripción

La creación de las unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA) surge de la necesidad de contar con esquemas más ordenados para el aprovechamiento de los recursos naturales (Anta-Fonseca y Carabias 2008). Asimismo, busca regular el mercado de ejemplares vivos o muertos y los productos derivados de sus partes, con la finalidad de evitar las prácticas no sustentables y perjudiciales para la vida silvestre (SEMARNAT 2006*a*, Robles 2009).

Bajo este contexto, en 1997 la entonces Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) inicio al Programa de conservación de la vida silvestre y diversificación productiva en el sector rural 1997- 2000 (SEMARNAP 1997, INE y SEMARNAP 2000), el cual tenía como propósito promover una amplia participación social mediante la creación de incentivos económicos que permitieran el correcto manejo de la vida silvestre, a través de la integración de estrategias ambientales, socioeconómicas y legales (Valdez et al. 2006).

Dentro de esta iniciativa se planteó la creación de un sistema de unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (SUMA), mismo que concibió a las UMA como espacios para fomentar esquemas alternativos y sustentables de producción basadas en un uso racional y planificado de los recursos, generando oportunidades de diversificación económica y contribuyendo a la conservación *in situ* de la diversidad biológica de México (Robles 2009, INE y SEMARNAP 2000).

No obstante, fue hasta el año 2000, con la publicación de la Ley General de Vida Silvestre, que las UMA adquirieron fuerza jurídica, siendo definidas como *los predios e instalaciones registrados que operan de conformidad con un plan de manejo aprobado y dentro de los cuales se da seguimiento permanente al estado del hábitat y de poblaciones o ejemplares que ahí se distribuyen*. Sin embargo, esta legislación no establecía una distinción entre las instalaciones dedicadas a la conservación de especies y aquellas cuyo fin fuese la reproducción con fines comerciales, espectáculos o colecciones privadas (SEMARNAT 2000).

Este panorama se modificó en el 2006 con la publicación del Reglamento de la Ley General de Vida Silvestre que in incluye a *los criaderos intensivos, viveros, jardines botánicos o similares que manejan vida silvestre de manera confinada con propósitos de reproducción controlada de especies o poblaciones para su aprovechamiento con fines comerciales*. Asimismo, se definieron como predios o instalaciones que manejan vida silvestre en forma confinada, fuera de su hábitat natural (PIMVS) (SEMARNAT 2006*b*).

Las UMA tienen como objetivo, promover esquemas alternativos de producción adecuados al cuidado del ambiente a través del uso racional, ordenado y planificado de los recursos naturales renovables, con el propósito de frenar y/o revertir los procesos de deterioro ambiental (SEMARNAT 2011*b*). Se diferencian de otros instrumentos de conservación porque

Méndez-Cárdenas, M.G., J. Bernal-Stoopen y M.B. Vega-Rosales. 2016. Unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.331-335.

mediante éstas es posible llevar a cabo actividades de producción sustentable, toda vez que se permite el aprovechamiento de ejemplares, productos y subproductos a través de la utilización directa o indirecta de los recursos de la vida silvestre (INE y SEMARNAP 2000, SEMARNAT 2005, INECC 2007, SEMARNAT 2011*b*).

Debido a su esquema basado en el binomio producción-conservación, las UMA pueden desempeñar diferentes actividades, en este contexto se han identificado dos tipos de aprovechamiento. El primero es el extractivo, enfocado a la actividad cinegética, venta para ornato, colecta científica e insumos para la industria del vestido. El segundo tipo de aprovechamiento es el no extractivo, cuyas actividades están encaminadas a la investigación, ecoturismo, fotografía, video, cine y educación ambiental (Robles 2009, SEMARNAT 2011*b*, 2013). Ambos tipos de aprovechamiento proveen fuentes de ingreso alternativas y complementarias a las actividades productivas convencionales como la agricultura, lo que otorga un "valor" a la biodiversidad y promueve su conservación (SEMARNAT 2011*b*, 2013).

De acuerdo con el tipo de manejo al que se encuentran sujetos los ejemplares, las UMA se clasifican en intensivas (relacionadas con la conservación *ex situ*) y extensivas (que contribuyen a la conservación *in situ*). En aquellas de carácter intensivo, el manejo es en instalaciones cerradas, donde existe una intervención directa del ser humano y control de los ejemplares existentes; en éstas se encuentran los criaderos intensivos de diversas especies, zoológicos, viveros y jardines botánicos (Robles 2009, SEMARNAT 2011*b*, 2013). Las extensivas se caracterizan por que los ejemplares se encuentran en vida libre, se alimentan y cobijan bajo las condiciones naturales del predio y sólo en algunas ocasiones se les brinda alimentación o resguardo (INE y SEMARNAP 2000, SEMARNAT 2005, Robles 2009).

Las UMA y los PIMVS deben estar autorizados y registrados ante la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e incorporarse al SUMA. Asimismo, éstas deben operar bajo un plan de manejo elaborado por el responsable técnico de la UMA, en el cual se describen los objetivos, programas y actividades para el manejo de las especies y hábitats de la unidad. El plan de manejo debe establecer las metas e indicadores de éxito que permitan medir, evaluar y comparar el funcionamiento de la UMA, y en su caso replantearlo (INE y SEMARNAP 2000, SEMARNAT 2000).

Con la finalidad de homologar la información recibida en los planes de manejo, la Subsecretaria de Gestión para la Protección Ambiental y la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS) del gobierno federal diseñó formatos para la elaboración del plan de manejo, tanto para UMA extensivas como intensivas, a fin de asegurar que dichas unidades posean objetivos para la conservación del hábitat natural, de las poblaciones y de los ejemplares de especies silvestres (artículo 39 de la Ley General de Vida Silvestre) (SEMARNAT 2000).

Diagnóstico

Actualmente existen 12 524 UMA registradas en el país, mismas que representan una extensión de 38.22 millones de ha, es decir, 19.46% del territorio nacional (SEMARNAT 2015). En enero de 2016 se solicitó a la SEMARNAT, mediante el sistema INFOMEX del Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales (INAI), la información correspondiente a las UMA en la Ciudad de México (cuadro 1). En el informe se reportan 97 UMA, 95 intensivas y dos extensivas, estas últimas corresponden al bosque de Chapultepec en la delegación Miguel Hidalgo y a Tlalpuente en la delegación de Tlalpan (SEMARNAT 2016).

En cuanto a las especies de fauna silvestre, en el cuadro 2 se muestra el número de unidades por grupo animal que manejan las UMA de la Ciudad de México. En este sentido, existen deficiencias en el registro e identificación de las especies que manejan las UMA intensivas: de las

95 unidades reportadas (SEMARNAT 2016), sólo en 71 se encuentran identificados a nivel de especie los ejemplares que manejan, en 24 no están determinados los nombres científicos (en algunos casos sólo se menciona la clase o familia a la que pertenecen) (SEMARNAT 2016) (cuadro 2).

Conclusión y recomendaciones

Las UMA representan una excelente alternativa de producción sustentable, debido a que contemplan en binomio de producción-conservación que agrega un valor económico a la biodiversidad. Esto resulta en una herramienta ambiental que provee de estímulos financieros a los dueños de dichos predios a cambio de conservar los recursos naturales, lo que representa una empresa y sustento para ellos.

Sin embargo, es necesario contar con un registro adecuado de UMA existentes, esto con el objetivo de evaluar el éxito de esta figura como estrategia de conservación. Existen algunas inconsistencias en los registros publicados en el portal oficial de la SEMARNAT (2015) en cuanto al número de UMA en la entidad con respecto al informe proporcionado a través del IFAI. Algunas como la omisión en contabilización de los viveros, generan confusión respecto a este dato y la cantidad total de hectáreas que abarcan las UMA, en la ciudad y en el país. Estas inconsistencias y los vacíos en la información no permiten visualizar, analizar y monitorear realmente el crecimiento de áreas bajo este instrumento. En retrospectiva, del año 2012 a la fecha en el portal oficial de la SEMARNAT, se reporta un incremento en el número de UMA registradas a nivel nacional. Sin embargo, por las inconsistencias en los registros es complicado aseverar que esta tendencia sea la misma para la Ciudad de México (SEMARNAT 2015). Es necesario estudiar, actualizar y homologar la información reportada en los registros públicos, con la finalidad de conocer la evolución de las UMA como una herramienta de conservación. La adecuada evaluación y posterior monitoreo de los resultados de las UMA sobre el estado de los ecosistemas y la biodiversidad, permitirá identificar las áreas de oportunidad y diseñar estrategias específicas para mejorar la eficacia de esta figura. Si bien es cierto que el camino por recorrer es largo, los alcances de este esquema dan pauta a la implementación de proyectos y programas en pro de la diversidad biológica, basados en la participación social activa a través de los productores. Las UMA representan una oportunidad invaluable para la conservación de la biodiversidad mediante la producción sustentable y la educación ambiental, ya que promueven la valoración de la diversidad biológica.

Cuadro 1. UMA intensivas registradas por delegación politica.

Delegación	Número
Álvaro Obregón	8
Benito Juárez	7
Coyoacán	9
Cuajimalpa	5
Cuauhtémoc	4
Gustavo A. Madero	4
Iztacalco	1
Iztapalapa	5
La Magdalena Contreras	5
Miguel Hidalgo	5
Milpa Alta	3
Tláhuac	2
Tlalpan	18
Venustiano Carranza	2
Xochimilco	16
Sin registro de delegación	1
Total	95

Fuente: SEMARNAT 2016.

Agradecimientos

A la bióloga Michelle Montijo Arreguín, por sus comentarios y sugerencias al texto.

Cuadro 2. UMA intensivas por grupo de fauna que manejan y por delegación.

Delegación	Mamíferos	Aves	Anfibios	Reptiles	Invertebrados	Otras especies de fauna	Cactáceas	Orquídeas	Otras especies de flora	Sin determinar	Total
Álvaro Obregón	1	4	-	-	-	3	-	-	-	-	8
Benito Juárez	-	4	-	1	-	1	-	-	1	-	7
Coyoacán	-	1	-	-	-	4	-	1	2	1	9
Cuajimalpa	1	1	-	-	-	1	-	-	2	-	5
Cuauhtémoc	-	-	-	2	-	1	-	-	1	-	4
Gustavo A. Madero	1	2	-	-	-	1	-	-	-	-	4
Iztacalco	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1
Iztapalapa	-	1	-	-	-	2	-	-	2	-	5
Magdalena Contreras	3	-	1	-	1	-	-	-	-	-	5
Miguel Hidalgo	-	1	-	1	-	-	1	-	1	1	5
Milpa Alta	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Tláhuac	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	2
Tlalpan	7	4	-	2	1	4	-	-	-	-	18
Venustiano Carranza	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	2
Xochimilco	2	2	2	3	-	1	4	-	1	1	16
Sin registro de delegación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
Total											95

Fuente: SEMARNAT 2016

Referencias

Anta-Fonseca S. y J. Carabias. 2008. Consecuencias de las políticas públicas en el uso de los ecosistemas y la biodiversidad. En: *Capital natural de México, vol. III: Políticas públicas y perspectivas de sustentabilidad*. CONABIO, México.

INE y SEMARNAP. Instituto Nacional de Ecología y Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 2000. Estrategia Nacional para la Vida Silvestre: Logros y retos para el desarrollo sustentable 1995-2000. En: <*http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/252.pdf*>, última consulta: 11 de enero de 2016.

INECC. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 2007. Sistema de unidades para la conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre. En: <*http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/279/cap42.html*>, última consulta: 16 de agosto de 2015.

Robles, R. 2009. *Las unidades de manejo para la conservación de vida silvestre y el Corredor Biológico Mesoamericano México.* CONABIO, México.

SEMARNAP. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 1997. programa de conservación de vida silvestre y diversificación productiva en el sector rural México 1997-2000. En: <*http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=279*>, última consulta: 6 de mayo 2016.

SEMARNAT. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2000. Ley General de Vida Silvestre. Publicada el 3 de julio de 2000 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 26 de enero de 2015.

——. 2005. Dirección General de Vida Silvestre. En: <*http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/05_aprovechamiento/recuadros/c_rec1_05.htm*>, última consulta: 11 de agosto de 2015.

——. 2006*a*. *La Gestión Ambiental en México*. México.

——. 2006*b*. Reglamento de la Ley General de Vida Silvestre. Publicado el 30 de noviembre de 2006 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 6 de mayo de 2014.

——.2011*b*. Sistema de unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (SUMA). En: <*http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.5_8080/ibi_apps/WFServlet2d34.html*>, última consulta: 20 de mayo de 2016.

——. 2013. Sistema de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre. En: <*http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/vidasilvestre/Paginas/sistemavs.aspx*>, última consulta: 6 de mayo de 2013

——. 2015. Sistema de unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (SUMA). Dirección General de Vida Silvestre. En: <*http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/vidasilvestre/Paginas/umas.aspx*>, última consulta: 11 de enero de 2013.

——. 2016. Oficio UCPAST/UE/16/261, *Listado de las unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA) intensivas y extensivas, registradas en el Distrito Federal*. Respuesta proporcionada a la solicitud de información pública 0001600011116.

Valdez R., J. Guzmán-Aranda, F. Abarca, *et al*. 2006. Wildlife conservation and management in Mexico. En: <*http://faculty.weber.edu/jcavitt/WildlifeManagementMaterials/Readings/MexicoWildlifeLaws.pdf*>, última consulta: 11 de enero de 2016.

Jardines botánicos

Jerónimo Reyes Santiago

Descripción

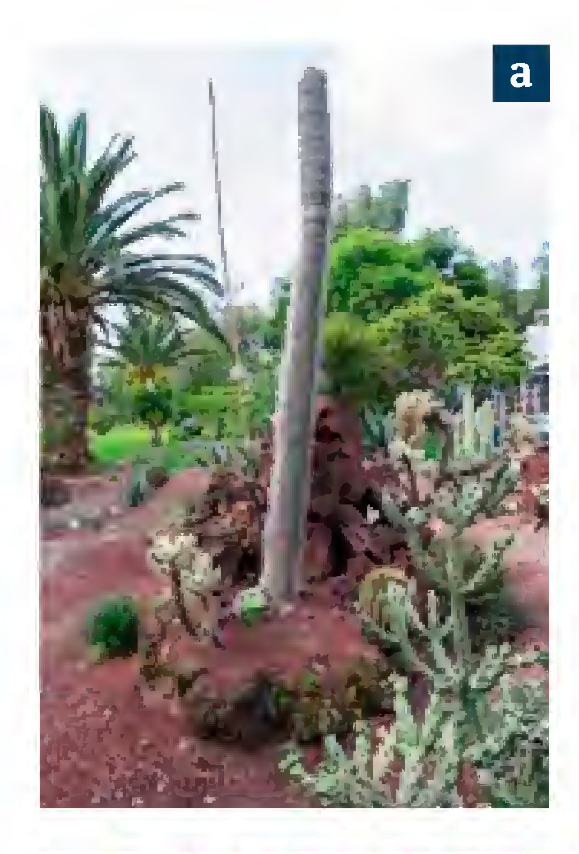
Los jardines botánicos son instituciones dedicadas al estudio de las plantas y su conservación (Vovides *et al.* 2010), como consecuencia de la necesidad de obtener conocimientos de los recursos vegetales que alberga un entorno, así como su uso adecuado y su conservación. Son espacios que exhiben colecciones de especies vegetales con información documentada y actualizada. Así mismo cada ejemplar que conforma las colecciones, cuenta con información tales como: el nombre científico, el nombre común, el origen, la distribución geográfica y los usos. Se cuenta con programas de cultivo, de educación ambiental y de investigación. Lo anterior, tiene como fin generar información que sea de utilidad para cualquier persona que la requiera.

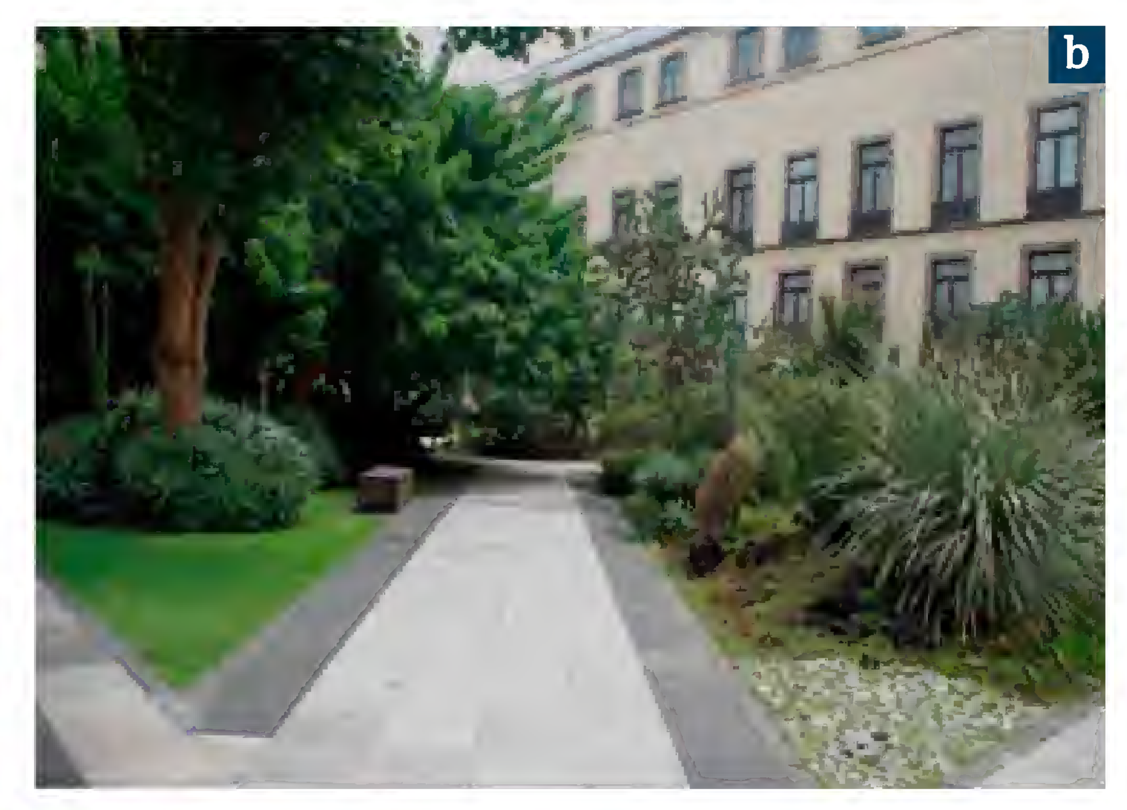
No existe un modelo único de jardín botánico. A través de los siglos hubo diversas orientaciones acerca de las funciones de éstos, determinada por la ideología predominante de cada época (Bramwell 1991). Sin embargo, muchos de los jardines actuales no cumplen las mínimas condiciones para ser considerados como tales, aunque se pueden incluir en otras categorías como jardines de exhibición, didácticos, demostrativos, comunitarios, históricos, agrobotánicos, etnobotánicos, regionales, recreativos y senderos ecológicos (Vovides y Hernández 2006).

Los jardines botánicos son considerados museos vivos, ventanas a la biodiversidad vegetal e instrumentos para la conservación. Estos apoyan a la conservación de diversas maneras: estudian la diversidad vegetal y cuáles son las especies amenazadas o raras (Marris 2006); generan protocolos de cultivo y reproducción de especies silvestres poco conocidas, con miras a la reintroducción y restauración (Bramwell 1991) y promueven la difusión de conocimientos por medio de educación ambiental y exposiciones (Linares *et al.* 2006, Vovides *et al.* 2010).

Estos espacios son importantes pues permiten conocer y conservar a las 985 especies de plantas mexicanas, que se encuentran actualmente en alguna categoría de riesgo (extintas, en peligro, amenazadas o que requieren alguna protección especial), según la NOM-059 (SEMARNAT 2010). Tienen la vocación natural de ser el lugar adecuado para evaluar el estado actual de las 22 mil especies calculadas para México por esta norma. Los jardines botánicos son lugares recreativos que invitan a acercarse a la naturaleza, debido a que se pueden observar plantas de diferentes áreas geográficas o con diversas adaptaciones, lo cual puede resultar interesante para el visitante, quien queda asombrado por los colores, texturas y formas de las plantas (figura 1).

Reyes-Santiago, J. 2016. Jardines botánicos. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.336-343.











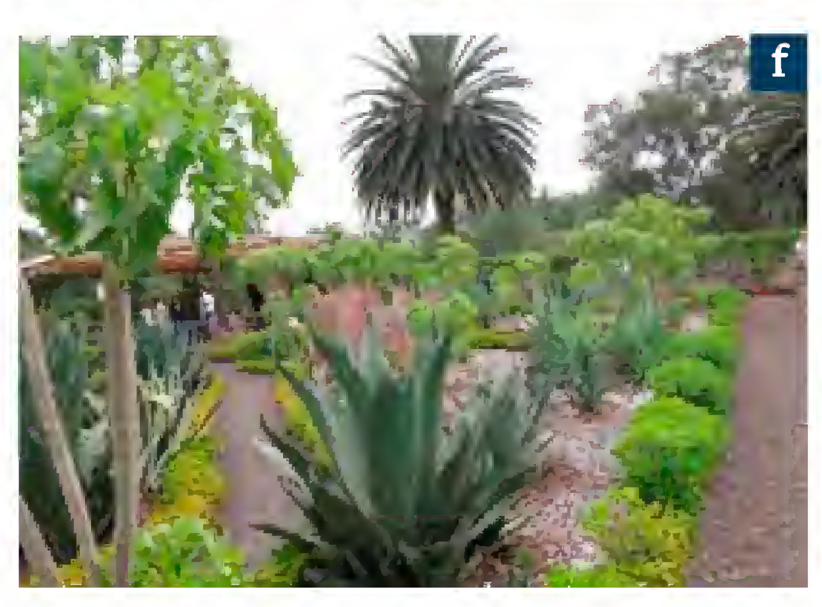


Figura 1. Jardines botánicos de la Ciudad de México. a) Jardín botánico de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM; b) jardín botánico del Palacio Nacional; c) jardín botánico de Chapultepec; d) jardín botánico del Instituto de Biología, UNAM; e) jardín botánico de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM y f) jardín botánico del Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América, A.C. Fotos: Luis Emilio de la Cruz (a, e); Ángeles Islas Luna (b); Jerónimo Reyes Santiago (c, d, f).



Figura 2. Orquideario del jardín botánico de Chapultepec. Foto: Jerónimo Reyes Santiago.

Antecedentes

Se conoce poco de la historia de los jardines del México prehispánico, se cree que eran impresionantes y exclusivos de los monarcas, quienes usaban las flores como símbolo de riqueza, tributo y trueque. Estos jardines se componían principalmente de huertos de hortalizas y árboles frutales, aunque también se podían encontrar hierbas y plantas medicinales (Heyden 1995). El conocimiento botánico de los antiguos mexicanos estuvo influenciado por su cosmovisión religiosa y mística, y por el conocimiento de especies medicinales (Valdés 1974, Lascurain *et al.* 2009).

El primer jardín botánico moderno en la Ciudad de México fue *el* Real jardín botánico del palacio virreinal de la Nueva España, establecido por iniciativa del virrey Segundo conde de Revillagigedo, quien solicitó un equipo de expertos dirigido por Vicente Cervantes y Martín de Sessé (Zamudio 2002). Este último, se encargaría de la Real Expedición Botánica para la colecta de plantas para herbarios y otras para su cultivo. Finalmente, el 1° de mayo de 1788 se inauguró el Real jardín botánico del palacio virreinal y se iniciaron los cursos de botánica como parte de las tareas de la Real y Pontificia Universidad de México.

Se tiene conocimiento de que la apertura de este espacio al público se realizó en 1791 y llegó a albergar cerca de 1 500 especies de las diferentes regiones de México. La colección de este jardín llegó a ser considerable. Richett (1974) afirma que tenía 1 400 especies, a esto Humboldt (1869), quien personalmente lo conoció dijo: *es rico en productos vegetales raros o de mucho interés para la industria y comercio.* Trabulse (1983) calculó que llegó a tener unos 6 mil ejemplares. Las labores del Real jardín botánico fundado por los españoles, se incrementaron con las investigaciones de una nueva comunidad de científicos mexicanos, que realizaron estudios de plantas medicinales como: José Mariano Mociño, De la Llave, Lexarza, Bustamante, Larreátegui, Maldonado, Antonio Cal, entre otros. El vestigio de este jardín se conserva actualmente en el Palacio Nacional, cerca del acceso por la calle Moneda.

Actualidad

En la ciudad se tienen registrados siete espacios que se consideran como jardines botánicos, aunque no todos cumplen con la definición actual (Vovides *et al.* 2010; cuadro 1), estos son: 1) jardín botánico del Palacio Nacional, fundado en 1788 y reabierto 2006, tiene una pequeña exhibición de suculentas exóticas, mexicanas y un sencillo arboretum (figura 1*b*); 2) jardín botánico de Chapultepec fundado en 1922 y reabierto en 2006, exhibe entre sus colecciones plantas nativas y exóticas como cactáceas, suculentas y un orquideario en áreas exteriores (figuras 1*a* y 2); 3) jardín botánico del Instituto de Biología de la UNAM, fundado en 1959, sus principales colecciones de exhibición son las cactáceas, agaváceas, crasuláceas, dalias, plantas medicinales, un arboretum de pináceas e invernaderos con especies tropicales; 4) jardín botánico de plantas medicinales de la Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía del IPN, el cual tiene una colección de plantas medicinales; 5) jardín botánico de la Benemérita Escuela Nacional de Maestros, fundado en 1985, es un pequeño espacio que tiene plantas nativas y

Cuadro 1. Jardines botánicos en la Ciudad de México.

Nombre	Ubicación	Fundación	Superficie aproximada (m²)	Colecciones
Jardín botánico del Palacio Nacional (figura 1*a*)	Plaza de la Constitución S/N. Col. Centro. Del. Cuauhtémoc	1788	1 500	Suculentas y un pequeño arboretum
Jardín botánico de Chapultepec (figura 1*b*)	Primera sección del Bosque de Chapultepe. Del. Miguel Hidalgo		4 000	Plantas nativas, exóticas y orquideario
Jardín botánico del Instituto de Biología, UNAM (figura 1*d*)	Tercer circuito exterior, S/N, Ciudad Universitaria UNAM. Del. Coyoacán	1959	$1.26x10^9$	Colecciones Nacionales de agaváceas, nopales silvestres, nolináceas y crasuláceas, un orquidario, dos invernaderos de plantas tropicales, yucas, plantas medicinales, especies ornamentales, rupícolas, acuáticas y un arboretum. Un invernadero de cactáceas en riesgo de extinción e invernaderos denominados laboratorios nacionales
Jardín botánico de plantas medicinales de la Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía del Instituto Politécnico Nacional	Guillermo Massieu H. 239, Del. Gustavo A. Madero	1978	1 500	Plantas medicinales, principalmente europeas
Jardín botánico de la Benemérita Escuela Nacional de Maestros	Calz México-Tacuba 75, Del. Miguel Hidalgo	1985	2 000	Plantas medicinales, frutales, ornamentales, olorosas, cactáceas y hortícolas
El Jardín botánico Medicinal "De la Cruz-Badiano" Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM (figuras 1*a* y 1*d*)	Av. Guelatao 66, Del. Iztapalapa	1987	500	Cactáceas, plantas medicinales, árboles frutales, ornamentales y un arboretum
Jardín del Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América, A.C (CICEANA) (figura 1*f*)	Progreso 3 Col. Del Carmen, Del. Coyoacán	2002	450	Agaváceas, crasuláceas, plantas exóticas, plantas de agricultura, medicinales y otras plantas comestibles silvestres

Fuente: elaboración propia.

exóticas para fines didácticos; 6) jardín botánico medicinal De la Cruz-Badiano de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza de la UNAM, fue fundado en 1987. Esta cuenta con algunas plantas medicinales y de zonas áridas (figuras 1*a* y 1*e*); 7) jardín botánico de ciceana, fue establecido en 2002 y exhibe principalmente plantas suculentas, para promover la naturación en espacios urbanos como azoteas (apéndice 49).

En 1919 el biólogo Alfonso Luis Herrera, con el apoyo de la Secretaría de Agricultura y Fomento, estableció el jardín botánico del Castillo de Chapultepec en 1923. Éste quedó anexo al Museo Nacional de Historia Natural y contó con una sección sistemática, conformada por más de 500 ejemplares pertenecientes a 75 familias fanerógamas y de un pequeño grupo de criptógamas vasculares. Estaba dividido en 13 secciones con una extensión de 6.3 ha (figura 3). Para 1924, el jardín contaba con aproximadamente con 20 000 plantas (Solís y Vázquez 1945). Los propósitos de este jardín eran recreativos, de apoyo didáctico e investigación. Lo destruyeron casi en su totalidad durante los cambios de gobierno ocurridos en las siguientes décadas, debido a la alternancia de los presidentes que ocupaban el castillo de Chapultepec y a su nulo apoyo económico. Se cuenta que el biólogo Alfonso L. Herrera disponía de recursos propios para mantener a las colecciones y la vegetación fue finalmente abandonada.

Jardín botánico de la UNAM

Después de 170 años de fundado el primer jardín botánico moderno, se estableció el Jardín botánico de la Universidad Nacional Autónoma de México en 1959 (actualmente denominado Jardín botánico del Instituto de Biología de la UNAM). La creación de este nuevo jardín se debió a la iniciativa del Dr. Efrén del Pozo, farmacólogo y secretario general de la universidad, quien le encargó la tarea de elaborar el proyecto al Dr. Faustino Miranda (prominente botánico español refugiado en México), mismo que fue aprobado por rectoría de la universidad y dirigido por el Dr. Nabor Carrillo, quien asignó los recursos económicos, administrativos y políticos necesarios para su realización.

El Dr. Faustino Miranda conformó un equipo incipiente de investigadores del Instituto de Biología, estudiantes y jardineros entusiastas. Durante los cinco años que ocupó el cargo de director, se establecieron colecciones de exhibición e investigación de plantas vivas (Hernández y Carmen 1995). Gracias a este esfuerzo, en 1983 México fue el primer país



Figura 3. Colección de agaváceas del jardín botánico de Chapultepec. Foto: Jerónimo Reyes Santiago.

latinoamericano en formar una Asociación Mexicana de Jardines Botánicos (AMJB). El papel principal de la AMJB es impulsar el desarrollo y consolidación de los jardines botánicos, apoyándolos en el cumplimiento de sus objetivos de investigación, difusión, educación y conservación (Rodríguez-Acosta 2000).

Las colecciones actuales del jardín botánico del Instituto de Biología de la UNAM, contribuyen a la conservación *ex situ* de 577 de las 7 320 especies endémicas de México, así como a la conservación de al menos 266 especies en riesgo, incluidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-059 (SEMARNAT-2010). Estas colecciones corresponden a 48% de las agaváceas, 58% de las cactáceas y 100% de las crasuláceas de México, amenazadas o en peligro de extinción (Caballero-Nieto *et al.* 2012). En la colección se tiene 75% de las especies de la familia Cactaceae y 100% de las especies Crasuláceas reportadad en la NOM-059. Este jardín mantiene las colecciones nacionales de agaváceas, nolináceas y crasuláceas, también alberga especies de orquídeas, plantas medicinales, especies ornamentales, rupícolas, acuáticas y un arboretum. Los especímenes del jardín tienen un arreglo ecológico, fitogeográfico, socioeconómico y taxonómico. Asimismo, se logró reproducir y recuperar a la biznaga (*Mammillaria haageana* subps. *sanangelensis*), extinta en su hábitat natural y misma que fue reintroducida con éxito.

Este jardín tiene invernaderos en donde se propagan especies mexicanas de cactáceas, crasuláceas, dalias, pinguiculas, entre otras; y en donde se logra reproducir más de 150 especies con alguna categoría de riesgo, incluidas en la NOM-059 (SEMARNAT 2010). Un tercio de estas plantas se venden en la tienda “Tigridia” del jardín, como un esfuerzo para evitar el comercio ilegal de estas especies. También se pueden “adoptar” plantas con alguna categoría de riesgo, para que cada persona se haga responsable de la conservación de las especies a largo plazo. La idea es tener una base de datos que permita rastrear estas plantas adoptadas en caso de extinguirse en su hábitat natural.



Figura 4. Colección de echeverias del jardín botánico del Instituto de Biología de la UNAM. Foto: Jerónimo Reyes Santiago.

Además del trabajo en la colección, también se realizan trabajos de investigación enfocados en la etnobotánica, la taxonomía de cactáceas, las agaváceas, las orquídeas y las palmas. Otras ramas de investigación son: la anatómica, la citológica y el cultivo de tejidos. En los últimos 15 años, el resultado del trabajo taxonómico que se realiza en el jardín son la descripción de nuevas especies de palmas (1), crasuláceas (11), agaváceas (9) y cactáceas (4) (Caballero-Nieto *et al*. 2010).

El jardín cuenta con un área de difusión, la cual organiza diversos cursos y talleres para el público en general, así como para profesionales de instituciones botánicas y de varios programas académicos y culturales.

En la Ciudad de México existen además de los jardines antes mencionados, espacios que se nombran jardines botánicos pero que no se pudieron verificar, así como otros que no se han registrado, como el de la UAM Azcapotzalco. Éste cuenta con una excelente colección de árboles, sobre todo nativos pero sin registro de procedencia en hábitat. Otro sitio que no fue considerado como jardín botánico es el parque *Bicentenario* en Azcapotzalco, porque carece de información de las especies que se cultivan, así como de personal botánico responsable o expertos en plantas. Existe el *Jardín didáctico de cactáceas y suculentas "In Atecocolli"* en la delegación Tláhuac que exhibe una excelente colección de cactáceas y suculentas en 2 000 m² y cuenta con programa de propagación. No obstante, el jardín carece de programas de exploración y bases de datos, así como oficina y personal suficiente para cumplir con los objetivos que exige un jardín botánico moderno.

En sentido estricto, en la ciudad solamente el Jardín botánico del Instituto de Biología de la UNAM se puede considerar como tal. A pesar de que sus colecciones se limitan a pocas familias botánicas que crecen en México, posee botánicos calificados, presupuesto para infraestructura, así como de estudios con rigor científico y técnico, y personal capacitado y bien remunerado

Conclusión y recomendaciones

Los jardines botánicos de la Ciudad de México requieren de apoyos económicos, administrativos y políticos de mínimo cuatro años para la mejora de sus espacios e infraestructuras. Es necesario establecer una red de jardines botánicos en la entidad, para coordinar las estrategias y criterios sobre las colecciones apropiadas, según la ubicación, vocación y dimensión de las áreas.

Los jardines emblemáticos de Chapultepec y del Palacio Nacional, representa la falta de planeación y rescate, debido a que sus escasas colecciones albergan plantas sin orden ni sentido. Se recomienda la refundación de estos jardines por expertos mexicanos en la herbolaria tradicional (historiadores y botánicos calificados), para mostrar al público nacional y extranjero el esplendor de un México lleno de pasados gloriosos en el conocimiento de sus recursos naturales. Estos espacios requieren de autonomía en sus estructuras administrativas y sus propias estrategias de desarrollo basadas en la ciencia y la sustentabilidad a largo plazo, independientemente de la dirección de funcionarios públicos, por lo que se sugiere que estos jardines sean dirigidos por especialistas y jardineros capacitados.

Es urgente establecer colecciones de especies nativas del valle de México, (muchas de ellas ya extintas en su hábitat natural), así como una larga lista de otras amenazadas por el crecimiento urbano, esto contribuiría sin duda en la conservación de la biodiversidad local. Es necesario establecer jardines con plantas importantes y nativas de la herbolaria mexicana, como las plantas mencionadas en los códices prehispánicos o las plantas nativas resistentes a la contaminación. Son muchas las estrategias que pueden desarrollarse en cada jardín botánico para que funcionen y cumplan sus objetivos de educación, difusión, conservación e investigación.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración de las biólogas Erika Pérez Mójica, por el acopio de datos y a Araceli Gutiérrez de la Rosa por la información del jardín didáctico del bosque de Tláhuac, y a la M. en C. Ángeles Islas Luna por sus comentarios y sugerencias.

Referencias

Bramwell, D. 1991. Botanic gardens in conservation: reintroduction into the wild. Pp. 209-216. En: *Tropical Botanic Gardens: Their Role in Conservation and Development.* V.H. Heywood y P.S. Wyse Jackson (eds.), Academic Press, Londres.

Caballero-Nieto, J.L., S. Ackelrad-Lerner de Scheinvar, A.J. Arias, *et al*. 2012. El Jardín Botánico del Instituto de Biología de la UNAM y la Estrategia Global para la Conservación Vegetal. Pp. 76-87. En: *Jardines botánicos: contribución a la conservación vegetal de México*. J. Caballero-Nieto (ed.). CONABIO, México.

Hernández Z. y C. Carmen 1995. Antecedentes de los índices seminum. Asociación Mexicana de Jardines Botánicos A.C. *Amaranto* 8(1):3.

Heyden, D. 2002. Jardines Botánicos Prehispánicos. *Arqueología Mexicana* 10:18-23.

Humboldt, A. 1869. *Ensayo político sobre Nueva España*. México. Imprenta Veracruzana de A. Ruiz.

Lascuráin, M., R. List , L. Barraza, *et al*. 2009. Conservación de especies *ex situ*. Pp. 517-544. En: *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO, México,

Linares, E., M. Mazari, T. Balcázar, *et al*. 2006. Componentes esenciales en la planeación de un jardín botánico. Pp. 35-53. En: *Jardines Botánicos: Conceptos, Operación y Manejo*. M. Lascurain, O. Gómez, O. Sánchez y C.C. Hernández (eds.) Asociación Mexicana de Jardines Botánicos, A.C., Publicación Especial 5, México.

Marris, E. 2006. Plant science: Gardens in full bloom. *Nature* 440:860-863.

Rodríguez-Acosta, M. 2000. *Estrategia de conservación para los Jardines Botánicos Mexicanos*. Asociación Mexicana de Jardines Botánicos, A.C., México.

Richett, H.W. 1974. The royal botanical expedition to New Spain. *Crónica botánica* I:1-86.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Publicado el 30 de diciembre del 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

Solís, O. y R. Vázquez. 1945. Reseña histórica de los Jardines Botánicos de México desde antes de la conquista hasta la época actual. Pp. 385-397. En: *Botánica. Alfonso Luis Herrera*, México, Ed. Hispano Mexicana, México.

Trabulse, E. 1983. *Historia de la Ciencia en México*. Estudios y Textos, siglo XVI., CONACYT/FCE, México.

Valdés, G.J. 1974. Los jardines botánicos. *Revista de la* UNAM 29:11-16.

Vovides, A.P., E. Linares y R. Bye. 2010. *Jardines botánicos de México: historia y perspectivas*. Secretaría de Educación de Veracruz, México.

Vovides, A.P. y Hernández C. 2006. *Concepto y tipos de jardines botánicos*. En: Jardines botánicos conceptos, operación y manejo. Asociación Mexicana de Jardines Botánicos, A.C. Yucatán, México.

Zamudio, G. 2002. El real jardín botánico del palacio virreinal de la Nueva España. *Ciencia* 68:22-27.

Zoológicos

Juan Arturo Rivera Rebolledo
Edith Georgina Cabrera Aguirre
Martha Beatriz Vega Rosales
Candys Michelle Montijo Arreguín

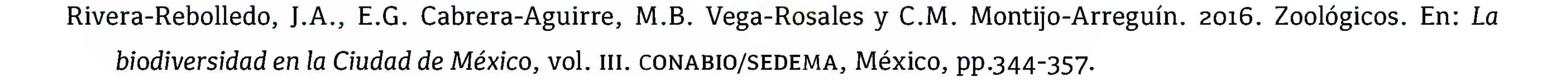
Sin duda, un paso decisivo hacia la conservación de la biodiversidad fue el establecimiento en 1992 del primer acuerdo mundial: Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD, por sus siglas en inglés). Entre los compromisos que en él se mencionan, se establece el papel que juegan los zoológicos en la conservación como herramientas que complementan los esfuerzos de conservación *in situ* (PNUMA 2012, CONABIO 2012). En este sentido, mundialmente los zoológicos modernos dejaron de ser únicamente espacios recreativos y de exhibición de animales, para transformarse en centros de conservación *ex situ* con objetivos enfocados en la recuperación de especies prioritarias y en peligro de extinción, en la protección de los ecosistemas naturales y en la educación ambiental (WAZA 2005, Lascurain *et al.* 2009).

En este contexto, a pesar de que la Ciudad de México es de las entidades más pequeñas del país, tiene dentro de su territorio tres importantes y reconocidos zoológicos: el de Chapultepec (que aloja fauna representativa de todo el mundo), el de San Juan de Aragón (con énfasis en fauna nacional) y Los Coyotes (con fauna endémica y nativa de la cuenca de México, en su mayoría). Los tres zoológicos están registrados ante la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS) de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) como una unidad de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA), y se rigen por la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México (SEDEMA), a través de la Dirección General de Zoológicos y Vida Silvestre (DGZVS).

La DGZVS modificó la esencia de su misión, visión y objetivos institucionales con la finalidad de encaminar sus programas de operación hacia una nueva visión de zoológicos como centros de conservación integrada (Gual *et al.* 2006, SMA 2012*b*). Además de la recreación, la DGZVS tiene como objetivo la conservación y recuperación de especies en alguna categoría de riesgo, la generación de conocimiento a través de la investigación científica, y la educación ambiental, basada en concientizar a los visitantes acerca del respeto y la importancia de la biodiversidad (Gual *et al.* 2006, SMA 2012*b*).

Es a través de las distintas áreas que la DGZVS desarrolla diversos programas para recuperar y conservar especies no sólo dentro de sus instalaciones, sino también en su medio natural. Participa con instituciones civiles, académicas y gubernamentales para fomentar la investigación multidisciplinaria y el desarrollo de programas integrales que coadyuven al manejo, reproducción y conservación de especies de la Ciudad de México, del país y del mundo, promoviendo el bienestar y el trato digno y respetuoso hacia los animales.

Con la finalidad de hacer más eficientes los esfuerzos en conservación, investigación cientí-



Rivera-Rebolledo, J.A., E.G. Cabrera-Aguirre, M.B. Vega-Rosales y C.M. Montijo-Arreguín. 2016. Zoológicos. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.344-357.

fica y educación ambiental, en la actualidad la DGZVS se integra por los tres zoológicos capitalinos, la Dirección de Bioética y Vida Silvestre (DBVS) y la Dirección Técnica y de Investigación (DTI). La DBVS coordina los proyectos de conservación *in situ* y *ex situ*, los programas de educación ambiental y las actividades relacionadas con el bienestar y la protección a los animales. Por su parte, la DTI se encarga, entre otras cosas, de la colaboración interdisciplinaria e interinstitucional para el intercambio de especies prioritarias, así como de la conducción del plan de manejo de la colección animal y de la generación y participación en proyectos de investigación. A continuación se describen las principales acciones de la DGZVS en materia de conservación, investigación y educación ambiental.

Conservación

En conjunto, los tres zoológicos de la Ciudad de México albergan alrededor de 2 261 individuos de 293 especies, de las cuales 105 (35.8%) son mamíferos, 45 (15.4%) reptiles, 133 (45.4%) aves, 6 (2%) anfibios y 4 (1.4%) arácnidos. De este total, 10 especies (3.4 %) son endémicas de México (cuadro 1).

Por otro lado, 81 especies (27.6%) se encuentran en alguna categoría de riesgo de acuerdo a la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y Recursos Naturales (UICN 2012), mientras que 135 (46.1 %) se hallan en alguno de los tres apéndices de protección de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES 2013). Asimismo, 153 especies son mexicanas, de las cuales 76 (49.6%) se encuentran protegidas por la NOM-059 (SEMARNAT 2010).

En este sentido, la DGZVS participa en programas de conservación de especies en peligro de extinción cuya distribución es exclusiva de la cuenca de México, como: el gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*), el conejo de los volcanes, teporingo o zacatuche (*Romerolagus diazi*) y el ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*); de distribución nacional, como: el cóndor de California (*Gymnogyps californianus*), el lobo mexicano (*Canis lupus baileyi*) y el borrego cimarrón (*Ovis canadensis*); así como de especies de intercambio internacional como el panda gigante (*Ailuropoda melanoleuca*). Dichos programas tienen la finalidad de incrementar los números poblacionales de las especies en cautiverio, a través de su reproducción, manejo genético y demográfico, así como de impactar de manera positiva en la conservación de las poblaciones en vida libre.

No obstante, para que los programas de conservación sean realmente exitosos, se requiere colaborar de manera interinstitucional. Un ejemplo de ello son los esfuerzos de conservación realizados en los zoológicos de la Ciudad de México a favor del cóndor de California (figura 1), especie considerada en *peligro crítico* por la UICN, y en *peligro de extinción* (P) en el país, según la norma (SEMARNAT 2010).

Cuadro 1. Número de especies en los zoológicos de la DGZVS.

Grupo	Número total de individuos	Número total de especies	Especies exóticas	Especies nacionales	Especies nacionales distribuidas en la Ciudad de México	Especies endémicas
Arácnidos	7	4	2	2	0	0
Anfibios	189	6	1	5	2	2
Reptiles	339	45	15	30	4	4
Aves	898	133	54	79	32	3
Mamíferos	828	105	68	37	10	1
Total	2 261	293	140	153	48	10

Fuente: elaboración propia.

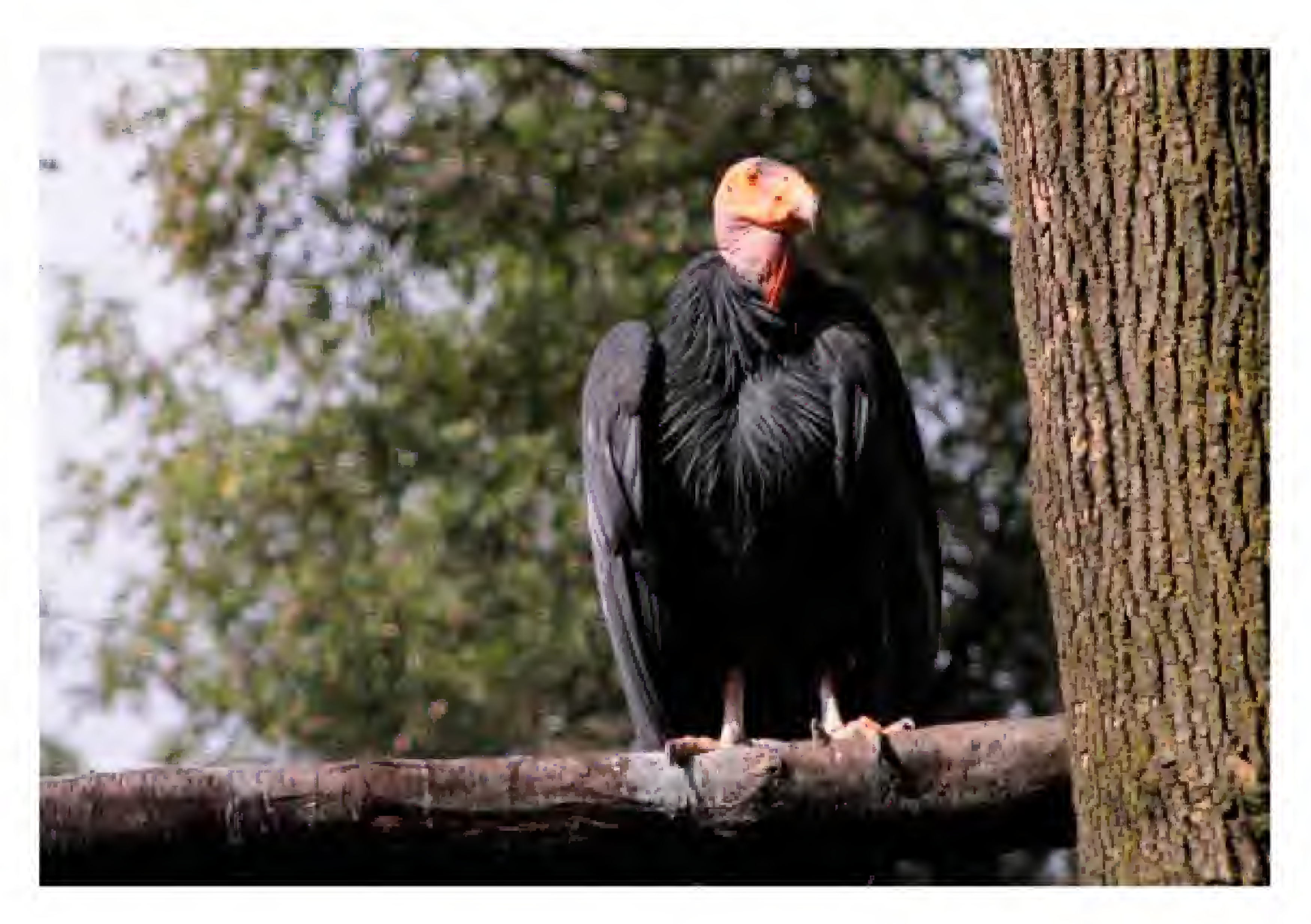


Figura 1. Cóndor de California (*Gymnogyps californianus*) en el zoológico de Chapultepec. Foto: Agustín Rodríguez.

Gracias al apoyo del Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos (USFWS, por sus siglas en inglés), de la Sociedad Zoológica de San Diego, de la SEMARNAT y del *Programa binacional vida silvestre sin fronteras*, en octubre de 2014 se recibieron dos hembras de cóndor de California para formar parejas reproductivas con los dos machos que se encuentran en el zoológico de Chapultepec desde el 2007. El objetivo de esta movilización es dar inicio al primer programa de reproducción en cautiverio de la especie en el país. Las crías nacidas serán transferidas a la Sierra de San Pedro Mártir, en Baja California, para ser introducidas en vida silvestre dentro de su rango de distribución histórica en México. El zoológico de Chapultepec es el único zoológico en el mundo, fuera de los Estados Unidos, que tiene la oportunidad de reproducir esta especie y participar activamente en el programa de recuperación del cóndor de California.

Como parte de las acciones para contribuir a la conservación de la biodiversidad en su medio natural, la DGZVS participa en el Programa de fondos de apoyo para la conservación y restauración de los ecosistemas a través de la participación social (PROFACE) de la Comisión de Recursos Naturales del Gobierno de la Ciudad de México (CORENA) de la SEDEMA, a través de la implementación del Programa de conservación y monitoreo comunitario de especies silvestres prioritarias, dentro del suelo de conservación del Distrito Federal (ahora Ciudad de México), enfocado principalmente a la conservación del gorrión serrano y del teporingo, especies endémicas y en peligro de extinción.

Dicho programa se lleva a cabo en colaboración con la CONABIO a través de la Iniciativa para la conservación de aves de América del Norte (CONABIO-NABCI México), la asociación Tierra de Aves A.C. y la Facultad de Ciencias, UNAM, así como con las comunidades de Milpa Alta y San Miguel Topilejo. Este programa consiste en emprender acciones para la conservación *in situ* del gorrión serrano (figura 2) y del teporingo (figura 3), mediante la protección de su hábitat natural y el monitoreo continuo. La DGZVS brinda asesoría

técnica y capacitación a las dos brigadas comunitarias encargadas de la ejecución del programa. Asimismo, la DGZVS comenzó a colaborar con el personal del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatépetl Zoquiapan, para establecer acciones en conjunto que promuevan la conservación de las poblaciones en vida libre del conejo zacatuche.

Por otro lado, la DGZVS participa desde el 2013 en coordinación con la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Gobierno del Distrito Federal (PAOT) y la Fundación Ecológica Club de Patos A.C., en apoyo al proyecto de manejo del Canal Nacional para la conservación de la fauna silvestre de esta importante zona histórica.

Adicionalmente, desde el 2009 la DGZVS coordina, en conjunto con la CONABIO, la elaboración de la presente obra que permitirá, en consecuencia, el desarrollo de la *Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad en la Ciudad de México.*

Educación

Los tres zoológicos son de los sitios más emblemáticos en la Ciudad de México, al recibir al año cerca de seis millones de visitantes. Por la problemática ambiental que atraviesa esta ciudad y el mundo, los zoológicos son importantes espacios que permiten sensibilizar a los visitantes acerca del valor de la biodiversidad. Esto se debe a que los conocimientos, comprensión, actitud y conducta de esta "audiencia cautiva", pueden ser modificados de manera positiva al tener la oportunidad de conocer acerca la biología de la fauna silvestre, su distribución histórica y actual, el estatus de sus poblaciones, los factores que la afectan y los esfuerzos que se realizan en la recuperación de especies silvestres (SEMARNAT 2006, SMA 2012 *a,b*, WAZA 2005).

Bajo este contexto, cada zoológico de la entidad cuenta con un área educativa que se rige por el Plan maestro de educación ambiental, coordinado a su vez por el área de educa-

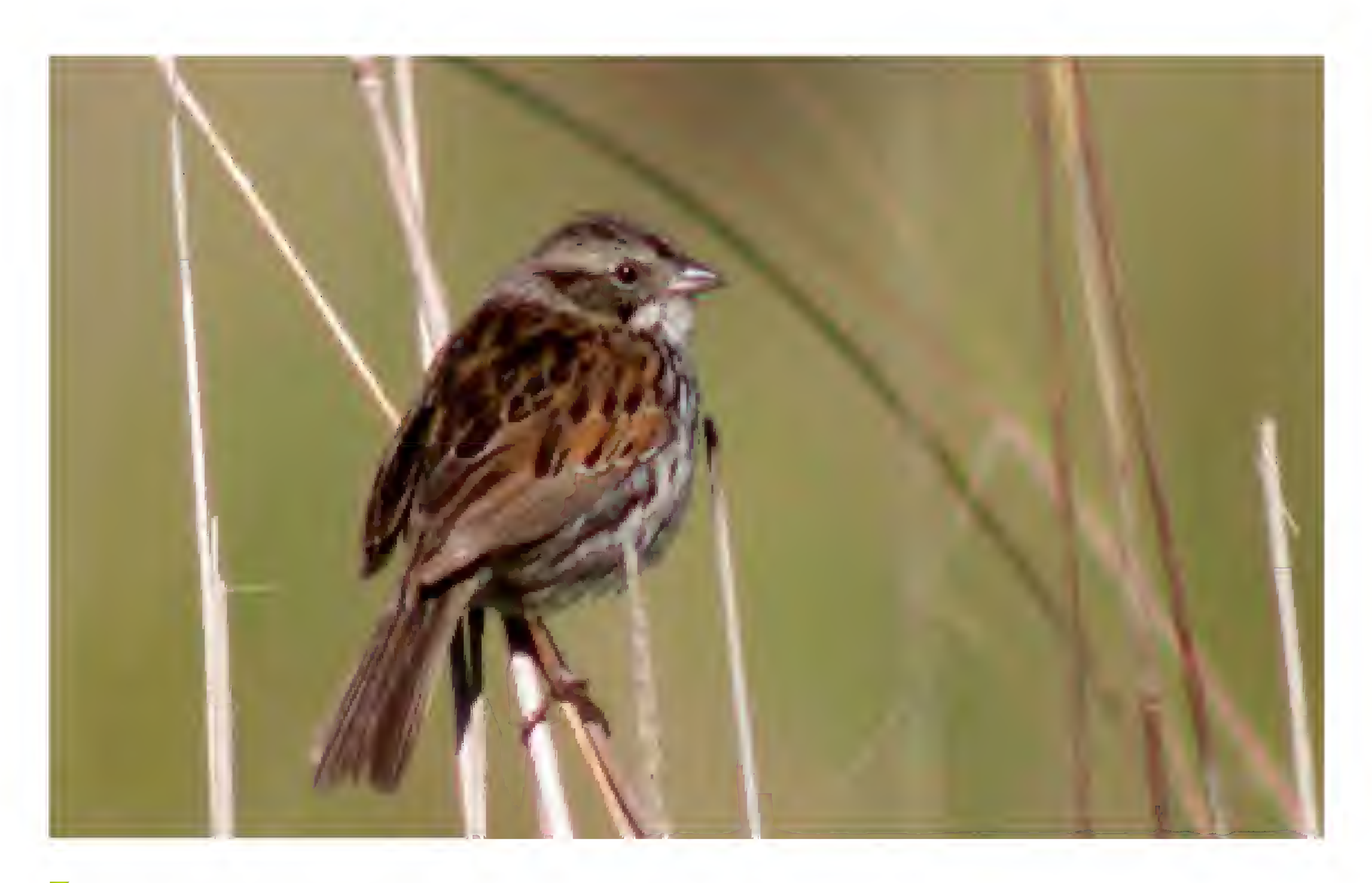


Figura 2. Gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*). Foto: Manuel Grosselet / Banco de Imágenes CONABIO.



Figura 3. Zacatuche o conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*) en el zoológico de Chapultepec. Foto: Agustín Rodríguez.

ción a cargo de la DBVS, y el cual establece lineamientos, metas y objetivos en común para abordar diversos temas prioritarios sobre la biodiversidad y sus amenazas.

Dentro de las actividades educativas que se implementan en los zoológicos se encuentran exposiciones, talleres, asesorías a docentes, pláticas interactivas, juegos educativos, capacitación de voluntarios, estancias y servicios sociales, atención a cursos de verano y recorridos educativos dirigidos a escuelas, grupos vulnerables de personas con discapacidad, adultos mayores y de escasos recursos (Sheinbaum 2008). Hasta el 2015, de los casi seis millones de personas que visitan los zoológicos, 40% participa en alguna de las actividades educativas que éstos brindan.

Una de las herramientas educativas más utilizadas son las exposiciones que se presentan dentro de los zoológicos. En este sentido, se colabora con diversas instituciones como la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), la CONABIO, la Escuela Nacional de Artes Plásticas (ENAP), y diversas organizaciones de la sociedad civil como Teyeliz, Jaguar Conservancy, Animal Efferus, Defenders of Wildlife, Naturalia, Tierra de Aves, entre otras, para exhibir a través de fotografías temas relacionados con la biodiversidad del pais y de la entidad.

Mediante estas actividades, los zoológicos capitalinos brindan a los visitantes la oportunidad de conocer la diversidad biológica existente en México y en el mundo, buscando sensibilizarlos, para que valoren y respeten la vida silvestre. De esta manera, los zoológicos se convierten en potenciales agentes sociales a favor de la protección y conservación de la biodiversidad (SMA 2012*b*).

Investigación

Los tres zoológicos de la entidad son instituciones gubernamentales, que de igual manera contribuyen de forma importante en la generación del conocimiento científico. La investigación que se realiza con las especies de fauna



Figura 4. Actividades educativas en los zoológicos de la Ciudad de México. Foto: Agustín Rodríguez.

silvestre se enfoca principalmente en temas de nutrición, fisiología, comportamiento y bienestar animal, reproducción, patología, conservación y medicina veterinaria. Muchas de estas especies, de manera natural muestran una conducta evasiva ante el ser humano; característica que dificulta la obtención de datos bajo condiciones *in situ*, por lo que el cautiverio facilita su observación y manejo directo. La información obtenida coadyuva a la conservación *in situ*, debido a que brinda datos importantes que permiten el manejo genético y demográfico de las poblaciones en su medio natural (DGZVS 2010, SMA 2012*b*).

En los zoológicos capitalinos se privilegian los proyectos de investigación con métodos no invasivos, realizando los procedimientos en estricto apego a los criterios éticos, técnicos y científicos aprobados para la investigación en animales. Del 2010 al 2014, se llevaron a cabo 44 proyectos de investigación con especies prioritarias en los tres zoológicos.

Un ejemplo exitoso de proyectos de investigación es la participación de la DGZVS en el Programa binacional para la recuperación del lobo mexicano, mediante el cual, con la colaboración de instituciones mexicanas y estadounidenses, se ha logrado obtener y congelar muestras de semen y ovocitos para su criopreservación en el único banco de germoplasma de la especie en el país, ubicado en el zoológico de Chapultepec. Con las muestras antes mencionadas se llevan a cabo investigaciones de reproducción artificial y del potencial genético de la especie, lo cual se detalla en la contribución de Programa de conservación *ex situ* de lobo mexicano (*Canis lupus baileyi*), en esta misma sección.

Asmismo, la DGZVS colabora con diversas universidades en la elaboración de proyectos de investigación, como es el caso de la participación de la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco (UAM-X) en el proyecto para el Estudio de la estructura genética del conejo zacatuche, y la UAM-Iztapalapa (UAM-I) en la formación del banco de germoplasma de la especie. En el caso de la UNAM, con el Instituto de Biología (IB-UNAM) se ha colaborado en más

de 18 proyectos sobre temas de nutrición, conservación y biología del zacatuche (*Romerolagus diazi*); con la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ–UNAM) en diversos proyectos para el monitoreo del estado de salud en temas de toxicología, patología, microbiología y reproducción de especies como el lobo mexicano, borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) y zacatuche. Además, la DGZVS estableció convenios con otras universidades y escuelas de educación superior para que sus estudiantes realicen estancias de servicio social, voluntariado, de investigación o prácticas profesionales en los zoológicos de la Ciudad de México.

Por otra parte, el cautiverio puede implicar problemas de salud cuando los animales se mantienen en espacios estériles o inadecuados (Lascurain *et al.* 2009). Bajo este escenario, la DGZVS busca mantener a los ejemplares de los tres zoológicos capitalinos en las mejores condiciones de bienestar, a través del Programa de bienestar animal y enriquecimiento del comportamiento, que tiene como principal objetivo el implementar actividades sensoriales o ambientales que estimulen conductas propias de las especies y que eviten la presentación de conductas patológicas o indeseables, que pueden causar daño físico o mental (Gual 2006, SMA 2012*b*).

Zoológico de Chapultepec

Con una superficie de aproximadamente 17 ha, este zoológico se encuentra localizado al poniente de la ciudad, dentro de la primera sección del bosque de Chapultepec, en la delegación Miguel Hidalgo. Representa uno de los lugares más emblemáticos de la entidad y uno de los mejores zoológicos en América Latina, además de que es considerado el zoológico nacional (Gual *et al.* 2006, DGZVS 2010, SMA 2012*a*,*b*).

El zoológico de Chapultepec fue inaugurado por el biólogo Alfonso L. Herrera en el año de 1924. Sus instalaciones se basaban en el diseño arquitectónico concebido por Carl Hagenbeck para el zoológico de Roma (Giardino Zoologico di Roma), en donde los ejemplares se encontraban agrupados en: primates, felinos, cánidos, herbívoros, aves y reptiles, entre otros; con una visión enfocada en la recreación de los visitantes. Sin embargo, conforme al avance en los criterios de los zoológicos, en los años de 1992 a 1994, el zoológico de Chapultepec fue remodelado en su totalidad (Reidl-Martínez 1999*a*). La colección animal se distribuyó de acuerdo con su hábitat natural en zonas bioclimáticas, agrupándose en seis biomas: desierto, pastizales, franja costera, tundra, bosque templado y bosque tropical (Gual *et al.* 2006).

El zoológico de Chapultepec cuenta con aproximadamente un total de 1 284 ejemplares de 247 especies de fauna silvestre. Es importante mencionar que de estas, 102 especies (41.3%) se distribuyen de manera natural en el territorio nacional, de las cuales, 33 (32.4%) habitan la ciudad, y cinco especies son endémicas de esta entidad (cuadro 2).

Del total de especies que alberga este zoológico, 70 (28.3%) se encuentran en alguna categoría de riesgo de las establecidas por la UICN y 118 (47.8%) están incluidas en alguno de los tres apéndices de la CITES (2013); mientras que de las 102 especies nacionales, 63 (61.8%) se encuentran protegidas por la NOM-059-SEMARNAT-2010 (apéndice 50).

Algunas especies representativas que se encuentran en el zoológico de Chapultepec y que están en peligro de extinción son las siguientes:

1) Distribución exclusiva de la cuenca de México: el conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*) y el ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*).
2) Distribución nacional: el lobo mexicano (*Canis lupus baileyi*), tapir centroamericano (*Tapirus bairdii*), el águila real (*Aquila chrysaetos*), el cóndor de California (*Gymnogyps californianus*), el ocelote (*Leopardus pardalis*), el oso negro (*Ursus americanus*), el mono saraguato negro

Cuadro 2. Número de especies en el zoológico de Chapultepec.						
Grupo	individuos	Especies	Especies exóticas	Especies nacionales	Especies nacionales distribuidas en la Ciudad de México	Especies endémicas
Arácnidos	4	2	1	1	0	0
Anfibios	143	3	0	3	1	1
Reptiles	152	39	15	24	12	3
Aves	488	96	52	44	12	0
Mamíferos	497	107	77	30	8	1
Total	1 284	247	145	102	33	5

Fuente: elaboración propia.

(*Alouatta pigra*), el tigrillo (*Leopardus wiedii*), el jaguar (*Panthera onca*) y el jaguarundi (*Puma yagouaroundi*).

3) Distribución internacional: el panda gigante (*Ailuropoda melanoleuca*), el tigre de Sumatra (*Panthera tigris sumatrae*), el chimpancé (*Pan troglodytes*) y el cóndor de los Andes (*Vultur gryphus*), entre otras.

Algunas de estas especies se logran reproducir de forma exitosa en el zoológico, contribuyendo con ello a los esfuerzos nacionales e internacionales para la recuperación de sus poblaciones (Flores y Gerez 1994, SMA 2012*b*, DGZVS 2015).

Asimismo, como parte de los programas educativos del zoológico de Chapultepec, se contribuye al desarrollo de la educación integral en los visitantes mediante actividades, lúdicas y recreativas. Ejemplo de éstas son: brindar atención a grupos escolares, proporcionar información al público en general en diversos puntos estratégicos del zoológico y desarrollar talleres y actividades lúdicas que promueven el conocimiento y cuidado de la biodiversidad. Adicionalmente, los más de cuatro millones de visitantes que recorren el zoológico al año, tienen la oportunidad visitar la antigua estación del tren, convertida en un museo educativo en el que se presentan exposiciones sobre temas de conservación de la fauna silvestre y el medio ambiente. Todo lo anterior con la finalidad de fomentar el conocimiento, la participación y el interés en la biodiversidad y su conservación (SEMARNAT 2006, SMA 2012*a*,*b*). Además, en este zoológico se encuentra un herpetario y un mariposario, donde los visitantes pueden admirar y aprender acerca de diferentes especies de reptiles, anfibios, mariposas y otros artrópodos (SMA 2012*b*).

Finalmente, cabe señalar que el zoológico de Chapultepec cuenta con la acreditación de la Asociación de Zoológicos y Acuarios de México (AZCARM), al cumplir satisfactoriamente con los estándares que marca dicha asociación, en función de la óptima operatividad del zoológico, del desarrollo integral de la institución y de la contribución a la conservación de la vida silvestre.

Zoológico de San Juan de Aragón

Este zoológico se localiza en el nororiente de la ciudad, a un costado del bosque de San Juan de Aragón, en la delegación Gustavo A. Madero, y posee una superficie de 36.1 ha. Abrió sus puertas el 20 de noviembre de 1964 bajo una concepto arquitectónico de "diseño radial", el cual se basaba en exhibidores semicirculares que permitían la observación de los animales desde cualquier punto en que se ubicara el visitante (Gual *et al.* 2006).

Con la finalidad de dotar al zoológico de la infraestructura que asegurara el bienestar de sus animales, mejore la calidad de los servicios hacia los visitantes y cumpla con los objetivos de educación, investigación y



Figura 5. Zoológico de Chapultepec. Foto: Agustín Rodríguez.

conservación, el 17 de mayo de 1999 se inició su remodelación (Reidl-Martínez 1999*b*, PAOT 2002, Gual *et al.* 2006). Ésta consistió en proporcionar a los animales grandes espacios y adecuadas instalaciones de acuerdo a las necesidades de cada especie, en contar con amplias zonas verdes a lo largo de su superficie, con una zona de vuelo de aves rapaces, un herpetario y un jardín de mariposas (SMA 2012*b*). Sin embargo, pese a todas las áreas nuevas con las que cuenta el zoológico, se estima que aproximadamente 40% de la superficie total (zoológico antiguo) aún se encuentra pendiente de remodelar.

El Zoológico de San Juan de Aragón posee una colección animal integrada por más de 708 individuos de 152 especies diferentes de fauna silvestre, de las cuales 89 (58.6%) se distribuyen naturalmente en México; de estas especies nacionales 24 (27%) habitan en la cuenca de México y cuatro (4.5%) son endémicas de la entidad. (cuadro 3).

En total, el zoológico cuenta con 38especies (25%) bajo alguna categoría de riesgo de las establecidas por la UICN, 69 (45.4%) se incluyen en los apéndices de la CITES, y 51 especies (57.3%) de las nacionales están protegidas por la NOM-059-SEMARNAT-2010 (apéndice 51).

Algunas de las especies mexicanas que habitan en el zoológico de San Juan de Aragón son las siguientes: el lobo gris mexicano (*Canis lupus baileyi*), el berrendo (*Antilocapra americana*), el perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*), el jaguar (*Panthera onca*), el águila real (*Aquila chrysaetos*), el borrego cimarrón (*Ovis canadensis*), el lobo marino de California (*Zalophus californianus*), el mono aullador de manto (*Alouatta palliata*), el mono araña (*Ateles geoffroyi*), la nutria de río (*Lontra longicaudis*), y las guacamayas verde (*Ara militaris*) y roja (*Ara macao*).

Algunas de las especies exóticas que los visitantes pueden apreciar son: la jirafa (*Giraffa camelopardalis*), el lobo marino de la Patagonia (*Otaria flavescens*), el león africano (*Panthera leo*), el tigre de Bengala (*Panthera tigris tigris*), la

Cuadro 3. Número de especies en el zoológico San Juan de Aragón.						
Grupos	**Individuos**	**Especies**	**Especies exóticas**	**Especies nacionales**	**Especies nacionales distribuidas en la Ciudad de México**	**Especies endémicas**
Arácnidos	2	2	2	0	0	0
Anfibios	2	2	1	1	0	0
Reptiles	180	21	4	17	2	2
Aves	260	53	12	41	15	1
Mamíferos	264	74	44	30	7	1
Total	708	152	63	89	24	4

Fuente: elaboración propia.

cebra de Grant (*Equus quagga boehmi*), el búfalo cafre (*Syncerus caffer*), el hipopótamo (*Hippopotamus amphibius*) y las diferentes especies de antílopes.

Este zoológico es el único en México que exhibe al berrendo, y el único en la ciudad que cuenta con elefante africano (*Loxodonta africana*), debido a que el albergue posee las características necesarias para promover el bienestar físico y mental requerido en esta especie (DGZVS 2010).

Asimismo, de acuerdo a la misión educativa de este zoológico, existe un área educativa en donde se realizan diferentes actividades para cerca de un millón de visitantes que se reciben al año. Algunas actividades que se realizan son: recorridos educativos, atención a grupos especiales, cursos de verano, pláticas y diferentes exposiciones temporales con temas ambientales que tienen como finalidad



Figura 6. Zoológico de San Juan de Aragón. Foto: Agustín Rodríguez.

el conocimiento y aprendizaje de los mismos y de la conservación de la fauna silvestre (SMA 2012*b*).

Zoológico Los Coyotes

Con una superficie aproximadamente de 11.2 ha, este zoológico se localiza al sur de la Ciudad de México, en la Delegación Coyoacán, y representa el tercer zoológico perteneciente a la DGZVS.

El zoológico Los Coyotes pasó por una serie de transformaciones notables. Inicialmente, en 1984, era la Escuela Ecológico-Comunitaria Los Coyotes, posteriormente se convirtió en un Centro de decomiso de especies de fauna silvestre, dependiente de la entonces Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE). Entre 1997 y febrero de 1999 (UVM 2001), el predio se encontraba muy descuidado; por mandato del Jefe de Gobierno en turno, la propiedad se transfirió a la entonces Unidad de Zoológicos de la Ciudad de México y se iniciaron los trabajos para revertir esa situación y transformar el sitio en el tercer zoológico de la Ciudad de México (Gual *et al.* 2006).

Para ello, se llevaron a cabo diversas acciones que permitieron recuperar las áreas verdes y rehabilitar las instalaciones para el público visitante. Asimismo, con el objetivo de mejorar el alojamiento de las especies bajo su resguardo, se readecuaron, habilitaron y crearon nuevos albergues y áreas de atención para la colección animal, como el hospital veterinario, áreas de manejo y almacén de alimentos. En años recientes se construyeron los albergues y exhibidores para el lobo mexicano (*Canis lupus baileyi*) y para la segunda colonia de conejo zacatuche (*Romerolagus diazi*) existente en la DGZVS, ambas especies en grave peligro de extinción (UVM 2001, SMA 2012*a*,*b*).

Este zoológico se considera como un zoológico regional, debido a que mantiene una colección de más de 269 ejemplares de 56 especies de fauna silvestre nacional; 34 (60.7%) de ellas poseen una distribución en la cuenca de México y ocho (14.3%) son endémicas de la región (cuadro 4). Del total de especies que alberga, 11 (19.6%) se encuentran protegidas por la NOM-059-SEMARNAT-2010, cinco (8.9%) están incluidas en alguna categoría de riesgo de la UICN y 14 (25 %) están protegidas en los apéndices de la CITES (apéndice 52).

Dentro de las especies que pueden ser admiradas en este zoológico se encuentran: el lobo mexicano, el conejo de los volcanes, el ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*), el águila real (*Aquila chrysaetos*), el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), el puma (*Puma concolor*) y el coyote (*Canis latrans*), entre muchas otras, así como un pequeño herpetario (DGZVS 2016).

Una de las características particulares del zoológico Los Coyotes es que no solamente desarrolla tareas características de un zoológico, sino que desempeña acciones relacionadas con la recreación de sus visitantes, tales

Cuadro 4. Número de especies en el zoológico Los Coyotes.

Grupos	individuos	Especies	Especies exóticas	Especies nacionales	Especies nacionales distribuidas en la Ciudad de México	Especies endémicas
Arácnidos	1	1	0	1	0	0
Anfibios	44	3	0	3	2	2
Reptiles	7	3	0	3	2	2
Aves	150	35	0	35	20	3
Mamíferos	67	14	0	14	10	1
Total	269	56	0	56	34	8

Fuente: elaboración propia.

como: actividades deportivas, campismo, atención a grupos scout y otros servicios de convivencia familiar y social. Esta característica hace que éste se considere como multimodal (SMA 2012*b*).

Cumpliendo con su misión educativa, este zoológico cuenta con un área educativa, localizada en un auditorio con capacidad para 120 personas, en donde se realizan diferentes actividades como exposiciones temporales, proyecciones digitales con temas ambientales y cursos de verano. Al igual que en el resto de los zoológicos, dichas actividades tienen como objetivo mostrar al público visitante la importancia del cuidado y conservación de la biodiversidad, ampliando el conocimiento y aprendizaje de temas ambientales (SMA 2012*b*).

Conclusiones y recomendaciones

Los zoológicos de la Ciudad de México han prosperado como centros de conservación integrada, que contribuyen a la investigación y la conservación de las especies a nivel nacional e internacional, así como a la promoción de una cultura de cuidado y protección medioambiental; sin embrago, existen retos por cumplir.

En cuanto a la educación, se requiere fortalecer los estándares de los programas educativos y la evaluación continua de éstos, con la finalidad de medir el efecto de dichos programas sobre el público y el alcance de un posible cambio de actitud posterior a su visita. Uno de los objetivos primordiales de estas áreas es sensibilizar a la población para promover una actitud comprometida con la conservación, por lo tanto, los zoológicos deben asumir la gran responsabilidad social y ambiental de sus tareas diarias.

Además, la DGZVS amplió sus atribuciones para apoyar en temas de conservación de la biodiversidad, más allá de las acciones que se realizan dentro de las instalaciones de los zoológicos. Aunque se llevan a cabo importantes programas de conservación con especies nacionales e internacionales dentro de los zooló-



Figura 7. Zoológico Los Coyotes. Foto: Agustín Rodríguez.

gicos de la Ciudad de México, es necesario que la DGZVS dirija mayores esfuerzos a la conservación de especies endémicas o nativas de la cuenca de México y en alguna categoría de riesgo. Es necesario vincularlos con acciones *in situ* para impactar con mayor énfasis en la protección de las poblaciones silvestres y en los programas de reintroducción de especies y de restauración de ecosistemas. Esto permitirá fortalecer los programas del gobierno local en materia de protección del suelo de conservación de la entidad. En este sentido, es conveniente tomar como ejemplo los casos de éxito de otras especies, como los del lobo mexicano y del cóndor de California, en los que el trabajo interinstitucional es la clave del éxito.

En materia de investigación, la cooperación con otras instituciones zoológicas y académicas ha sido exitosa, permitiendo lograr mejores resultados. Actualmente, se colabora de manera activa con las principales instituciones académicas de la ciudad, pero es necesario seguir sumando esfuerzos para dar mayor impulso a los programas de investigación. En este sentido, los zoológicos de la Ciudad de México tienen la infraestructura necesaria para contribuir a la preservación del material genético de diversas especies. Por ello, es indispensable desarrollar proyectos que permitan llevar a cabo estos mismos procedimientos en especies amenazadas de la cuenca de México, con la finalidad de establecer a futuro técnicas de reproducción asistida de manera exitosa.

Finalmente para cumplir con los objetivos de los zoológicos modernos, es de suma importancia continuar involucrando a los diferentes sectores de la sociedad en las acciones enfocadas al cuidado, protección y conservación de la biodiversidad.

Referencias

CITES. Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. 2013. Apéndices I, II y III. En: <*https://cites.org/esp/app/2013/S-Appendices-2013-06-12.pdf*>, última consulta: 12 de junio de 2015.

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2012. Biodiversidad Mexicana, Cooperación Internacional. En: <*http://www.biodiversidad.gob.mx/planeta/internacional/index.html*>, última consulta: 6 de mayo de 2016.

DGZVS. Dirección General de Zoológicos y Vida Silvestre de la Secretaría del Medio del Gobierno del Distrito Federal. 2010. Impacto de los Zoológicos en la Conservación de la Biodiversidad. En: <*http://www.inecc.gob.mx/descargas/con_eco/2010_sem_megadiverso_pres_11_jstoopen.pdf*>, última consulta: 7 de febrero de 2014.

——. 2015. Archivo interno. Inventario de semovientes de la DGZVS.

Flores, O. y P. Gerez. 1994. Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso de suelo. Apéndice C. Pp. 302-333. En: *Distribución estatal de los vertebrados endémicos a Mesoamérica en México*. CONABIO, México.

Gual, F., A. Rivera, R. Tinajero, *et al*. 2006. *Centros de Conservación del Siglo XXI, Los Zoológicos de la Ciudad de México. Memorias 2001-2006*. DGZVS/SMA, México.

Lascurain, M., R. List, L. Barraza, *et al*. 2009. Conservación de Especies *Ex Situ*. Pp. 517-544. En: *Capital Natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO, México.

PAOT. Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento del Territorio del Gobierno del Distrito Federal. 2002 Programa de Protección Ambiental del D.F. 2002-2006. En: <*http://www.sma.df.gob.mx/sma/download/archivos/programa_proteccion_ambiental_del_df.pdf*>, última consulta: 10 de febrero de 2014.

PNUMA. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 2012. Convenio sobre la Diversidad Biológica. En: < *https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf* >, última consulta: 6 de mayo de 2016.

Reidl-Martínez, L. 1999*a*. *El Zoológico de Chapultepec desde el punto de vista psicosocial*. Facultad de Psicología-UNAM/GDF, México.

Reidl-Martínez L. 1999*b*. *El Zoológico de San Juan de Aragón desde el punto de vista psicosocial*. Facultad de Psicología-UNAM/GDF, México.

Sheinbaum, C. 2008. *Problemática ambiental de la Ciudad de México*. Editorial Limusa y Grupo Noriega Editores, México.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2006. Estrategia de educación ambiental para la sustentabilidad en México 2006-2014. En: <*http://www.ucol.mx/personalacademico/ainea/documentos/Estrategia_Educacion_Ambiental_Sustentabilidad_SEMARNAT.pdf*>, última consulta: 6 de mayo de 2016.

——. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

SMA. Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2012*a*. *Reporte de la Biodiversidad de la Ciudad de México*. DGZVS, México.

——. 2012*b*. *Libro Blanco: Conservación y uso sustentable de la biodiversidad del Distrito Federal. Capítulo II: Programas y acciones de conservación ex situ*. SMA/GDF, México.

UICN. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. 2012. Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1. 2ª edición. Suiza y Reino Unido: UICN. En: < *http://www.iucnredlist.org/documents/redlist_cats_crit_sp.pdf*>, última consulta: 12 de junio de 2015.

UVM. Universidad del Valle de México. 2001. Proyecto de señalización del Zoológico Los Coyotes. En: <*http://www.tlalpan.uvmnet.edu/oiid/download/AyHensenanzaytipsendisenografico1-2009.pdf*>, última consulta: 7 de febrero de 2014.

WAZA. World Association of Zoos and Aquariums. Construyendo un Futuro para la Fauna Salvaje. Estrategia Mundial de los Zoos y Acuarios para la Conservación. 2005. En: < *http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/publicaciones/pbl_estrategia_mundial_zoos_acuarios_06_tcm7-20337.pdf*>, última consulta: 6 de mayo de 2016.

Estudio de caso

Programa de conservación *ex situ* del lobo mexicano (*Canis lupus baileyi*)

Juan Arturo Rivera Rebolledo
Martha Beatriz Vega Rosales

Introducción

El lobo gris (*Canis lupus*) se distribuye en Asia, Europa y Norteamérica, incluyendo Estados Unidos y México. Durante el periodo de 1959 a 1981 los taxónomos Hall y Kelson, reconocieron 24 subespecies de *Canis lupus* para Norteamérica basados en la clasificación de Goldman (Young y Goldman 1944), ambas clasificaciones consideraban al lobo mexicano como *Canis lupus baileyi* (INE y SEMARNAP 1999).

Esta clasificación taxonómica tiene como fundamento principal las características físicas de los ejemplares. Sin embargo, años más tarde, con el avance tecnológico, se realizaron estudios y análisis genéticos, los cuales permitieron una clasificación más precisa; estos análisis reagruparon 24 subespecies en cinco: 1) *C.l. mogollonensis*, 2) *C.l. monstrabilis*, 3) *C. l. nubilus*, 4) *C. l. occidentalis* y 5) *C.l. baileyi*. Aún existe una polémica en cuanto a esta agrupación (USFWS 1982).

En el caso particular del lobo mexicano, inicialmente se debatió su clasificación taxonómica, puesto que se consideró que podría ser un hibrido, producto de la mezcla de lobo gris-coyote, o lobo rojo-coyote, debido a que el lobo gris (*C. lupus*) comparte procesos evolutivos y regiones de distribución con el lobo rojo (*C. rufus*) y el coyote (*C. latrans*) (USFWS 1982). Con la finalidad de determinar el verdadero estatus taxonómico del lobo mexicano, se llevaron a cabo diferentes estudios a nivel morfológico y de distribución. Estos estudios determinaron que el ADN del lobo mexicano (*C.l. baileyi*) contiene patrones únicos y perfectamente diferenciables, además de las variaciones del tamaño corporal y del cráneo.

Estas variables morfológicas sobresalen considerablemente en comparación con las observadas en otras subespecies de lobo gris, incluyendo las extintas encontradas en Nuevo México (*C. lupus mogollonensis*) y Texas (*C. lupus monstrabilis*) (USFWS 1982, Brown 1983, Savage 1995, Hedrick *et al.* 1997, INE y SEMARNAP 1999, Chambers *et al.* 2012). Por ello, actualmente el lobo mexicano forma parte de las subespecies descritas para Norteamérica (Hedrick *et al.* 1997, INE y SEMARNAP 1999, Chambers *et al.* 2012).

Descripción y distribución

El lobo mexicano (*C. lupus baileyi*) es la más pequeña de las subespecies de lobo gris, los ejemplares adultos llegan a medir un promedio de 70 cm de altura y 150 cm de longitud, con un peso que oscila entre los 25 y 42 kg (INE y SEMARNAP 1999, Packard y Bernal 2000, Servín 2007, Chambers *et al.* 2012,). Sus colores varían de gris entrecano a canela leonado, prevaleciendo el amarillo sucio, con sombreados negros en la espalda y partes superiores del flanco, y las partes bajas más claras (figura 1) (Packard y Bernal 2000).

Rivera-Rebolledo, J.A. y M.B. Vega-Rosales. 2016. Programa de conservación *ex situ* de lobo mexicano (*Canis lupus baileyi*). En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.358-364.

Hasta principios de este siglo sólo dos subespecies de *C. lupus* habitaban México:

a) *C. lupus monstrabilis.* Actualmente, se encuentra extinta y su distribución se restringía a la Sierra Madre Oriental, en los estados de Tamaulipas y Nuevo León (Young y Goldman 1944, Hall 1981, Servín 2007).
b) *C. lupus baileyi.* Su distribución geográfica original en el país nunca fue reconocida por los biólogos y naturalistas, por la carencia de evidencia fehacientes de ello. Sin embargo, se piensa que abarcaba desde la frontera del norte de México, en los estados de Sonora, Chihuahua y parte de Coahuila, extendiéndose hacia el sur a través de la Sierra Madre Occidental en los estados de Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, atravesando la parte central del país y del Eje Neovolcánico Transversal (Estado de México, Morelos, Puebla y la cuenca de México) hasta Oaxaca. En la Ciudad de México se encontró evidencia arqueológica de la presencia de lobo mexicano en el centro de la entidad, en la zona del templo mayor de Tenochtitlan. Empero, no existen registros de su distribución exacta (Leopold 1959, Servín 1999, INE y SEMARNAP 1999, INAH 2013).

Se reporta que *C.l. baileyi* ocupó las regiones montañosas y altas planicies dominadas principalmente por bosques de roble y pino-encino (*Pinus* spp. y *Quercus* spp.) en zonas de elevación media (superior a 1 400 msnm) (INE y SEMARNAP 1999, Servín *et al.* 2006). Las presas, como el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) y varias especies de roedores y aves, eran más abundantes en comparación con las



Figura 1. Ejemplar de lobo mexicano (*C. lupus baileyi*). Foto: Agustín Rodríguez.

zonas semidesérticas circundantes (por debajo de 900 msnm), o de los picos montañosos de tundra alpina (INE y SEMARNAP 1999, Pakard y Bernal 2000).

Amenazas

El lobo mexicano es uno de los cánidos más amenazados de extinción en el mundo. Los principales factores que favorecieron que esta especie se encuentre en tan alarmante estatus, fueron las actividades de control de depredadores, la pérdida de poblaciones de sus presas y la alteración del hábitat asociado con la tala y el pastore. Esto se debió a que los bosques de roble, antes ocupados por venados y lobos se convirtieron en sitios muy productivos para la ganadería afectando considerablemente la distribución de esta especie (USFWS 1982, Brown 1983, INE y SEMARNAP 1999, Pakard y Bernal 2000).

La causa principal del decline en las poblaciones del lobo mexicano fue la campaña consciente de exterminio del que fueron objeto tanto en México como en Estados Unidos, durante los años treinta y hasta casi 1982 (INE y SEMARNAP 1999, Servín 2007). Esta campaña se justificó por la prevalencia de rabia silvestre que llegaba a las zonas urbanas y ocasionaba frecuentes epizootias[1] entre los perros domésticos, y al crecimiento de la tasa de depredación de ganado por lobos (Pakard y Bernal 2000). A finales de 1800 esta persecución causó la declinación rápida de la especie (Servín 2007). Tan solo en Estados Unidos se reporta el exterminio de 55 000 lobos entre 1870 y 1877 (Villa 1960). En México el combate contra los lobos inició más tarde en 1930 instruido por la Oficina Sanitaria Panamericana, por las mismas razones que en Estados Unidos, dicha campaña se llevó a cabo mediante rifles calibre 0.22 y trampas de quijada de acero o cepos. Posteriormente, de 1952 a 1960 se llevó a cabo una campaña para el control y exterminio de grandes carnívoros en el norte de México, principalmente en Chihuahua y Sonora, utilizando un veneno llamado 1 080 o monofluoroacetato de sodio, también letal para el humano (Baker y Villa 1959, Leopold 1959, Villa 1962 citada en Servín 1996). No obstante que las cifras son imprecisas, se estima que durante esta campaña se exterminaron por envenenamiento 4 600 coyotes y lobos para el área de Nacozari de García, Sonora; y 7 800 para Nuevo Casas Grandes, Chihuahua (Villa 1960 citado en Rivera 2003). Se determinó que en 1980, la población silvestre de esta subespecie en México no sobrepasaba los 100 individuos entre Sonora, Chihuahua, Durango y Zacatecas, los cuales se encontraban en parejas o como lobos solitarios (McBride 1980).

Esta campaña de exterminio, llevó a que la especie fuera incluida en el Acta de Especies en Peligro de Extinción de los Estados Unidos desde el año de 1973, y declarada en México como potencialmente extinta del medio silvestre, por la Norma Oficial Mexicana NOM-059 (SEMARNAT 2010).

Conservación

En 1973 con la aprobación del Acta de Especies Amenazadas de los Estados Unidos de América (U.S. Endangered Species Act), se iniciaron una serie de acciones sin precedentes en México para la recuperación de la especie (Brown 1983, Savage 1995). Los propios ganaderos mexicanos cooperaron con el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos (USFWS por sus siglas en inglés) (USFWS 1982, INE y SEMARNAP 1999, Servín 2007), en la captura de siete lobos vivos para formar una población para su reproducción en cautiverio, la cual sería manejada por la misma USFWS (Rivera 2003).

En 1976 instituciones como el Lincoln Park Zoological Garden y la Asociación de Zoológicos y Acuarios de Estados Unidos de América (antes Asociación Americana de Parques Zoológicos y Acuarios) en coordinación con la

[1] Epizootias: Ocurrencia de una enfermedad en una población animal en un lugar y tiempo determinados, significativamente por arriba de la frecuencia esperada (Vargas-García 2000).

USFWS y la Dirección General de la Fauna Silvestre (USFWS 1982, INE y SEMARNAP 1999), iniciaron formalmente la implementación del *Programa binacional de recuperación del lobo mexicano*. El objetivo del programa es reproducir y alcanzar una población cautiva, genéticamente saludable y numerosa, capaz de ser reintroducida a su hábitat, conformando una población silvestre de lobos mexicanos que se distribuya en su rango histórico (Servín 1991, 2006, Siminski 2012, SMA 2012).

Durante 1997, en México se implementaron los proyectos de conservación y recuperación de especies prioritarias (PREP) por parte del gobierno federal (INE y SEMARNAP 1999), siendo el lobo mexicano uno de los primeros proyectos considerados en los PREP. Posteriormente, se llevó a cabo la composición del subcomité técnico consultivo nacional para la recuperación del lobo mexicano, el cual fungió como órgano de consulta, asesoría y coordinación al gobierno federal, en cuanto al manejo en cautiverio y vida libre del lobo mexicano, estableciendo las principales líneas de acción para lograr el la recuperación de la especie en su hábitat natural (Rivera 2003, Lambet 2007).

En el marco del Programa binacional para la recuperación del lobo mexicano, uno de los retos principales que afronta el programa de conservación en cautiverio (*ex situ*), es que los ejemplares actuales de lobo mexicano sean descendientes de los cinco ejemplares capturados en los años setenta (INE y SEMARNAP 1999).[2] Esta escasa base fundadora de los ejemplares actuales, predispone a las poblaciones en cautiverio a estar altamente emparentadas, escenario que a largo plazo puede desencadenar grave reducción en la variación genética, así como enfermedades genéticas en la población. Sin embargo, en los últimos 34 años el programa binacional incrementó sus posibilidades de éxito, al ampliarse la base genética de los fundadores, mediante la inclusión en el programa de reproducción de ejemplares provenientes del Ghost Ranch en Nuevo México y del Zoológico San Juan de Aragón de la Ciudad de México (INE y SEMARNAP 1999, SMA 2012).

El Programa binacional para la recuperación del lobo mexicano, cuenta con la colaboración de instituciones zoológicas, ranchos y reservas ecológicas, como los tres zoológicos de la Ciudad de México, los cuales realizan intercambio continuo de animales para su reproducción (INE y SEMARNAP 1999). Dicho intercambio se realiza apegado a un estricto programa genético de entrecruzamiento, con la finalidad de: evitar la depreciación genética de la población, mantener e incluso incrementar, la variabilidad genética de la población cautiva, disminuir la consanguinidad y el parentesco entre los ejemplares; para evitar la presentación de enfermedades ligadas a esta condición, logrando una población genéticamente estable y viable (INE y SEMARNAP 1999, SMA 2012).

El Programa binacional para la recuperación del Lobo pretende incrementar la investigación existente sobre esta importante subespecie para lo cual, trabaja en colaboración con instituciones académicas y de investigación tales como: el Instituto de Ecología A. C del Centro Regional de Durango, la UNAM y la CONABIO (INE y SEMARNAP 1999). Con estas alianzas se han logrado integrar el componente educativo y de investigación, formando un plan de trabajo integral que agrupa a las instituciones académicas y operativas.

Logros

Por las condiciones genéticas, demográficas y sociales tan adversas a las que se enfrentan las poblaciones de lobo mexicano, la reproducción en cautiverio es una actividad fundamental para la recuperación de esta especie.

Dicho manejo se tiene que llevar a cabo bajo un estricto apego a las especificaciones marcadas en el programa binacional, las

[2] En el primer *Mexican Wolf Recovery Plan*, se reportan siete ejemplares capturados en el territorio nacional.

cuales incluyen una serie de requisitos que deben cumplir las instalaciones en donde se albergue esta subespecie, como: contar con una superficie mínima para mantener una pareja reproductiva y su camada (900 m²); cada ejemplar debe contar con una zona de resguardo del público, mallas y barreras seguras, una zona de cuarentena, material y personal adecuado para procedimientos de captura, manejo y contención; asimismo solicita contar con un programa de nutrición y programas de medicina preventiva, enfocado a las principales enfermedades que afectan al lobo mexicano (Lambert 2007, Siminski 2012).

Dichos requerimientos se cumplen exitosamente por los zoológicos de la Ciudad de México, lo cual permite que estas instituciones tengan un papel fundamental y participen de manera activa en las acciones de recuperación de esta subespecie. En 2014, el zoológico de Chapultepec consiguió la primer inseminación artificial exitosa de esta subespecie en México, la cual derivó en el nacimiento de dos crías. Desde la recepción de las primeras parejas de lobo en México, los zoológicos de la entidad tuvieron 37 partos y el nacimiento de un total de 150 crías. Asimismo, en los últimos años las camadas viables registradas en el studbook, son ejemplares provenientes de los zoológicos de la Ciudad de México y de Sonora (Siminski 2012, 2013).

Gracias a los constantes esfuerzos de conservación realizados por las instituciones participantes en el programa binacional, hasta el 31 de julio del 2015, la población de esta especie está conformada por un total de 297 ejemplares, distribuidos en 54 instituciones zoológicas de México y Estados Unidos, así como en las zonas de reintroducción de ambos países (Siminski 2012, 2013, 2015).

En este sentido, la población en cautiverio se encuentra integrada por 241 ejemplares, de los cuales 164 ejemplares se localizan en instituciones zoológicas de Estados Unidos y 77 en México. Además, del mantenimiento y reproducción de ejemplares bajo su resguardo, en los zoológicos de la ciudad se logró exitosamente obtener y conservar en congelación 127 muestras de semen de 30 machos y 91 ovocitos de 14 hembras de lobo mexicano. Lo anterior establece y conforma el único banco de germoplasma para la especie en el país, el cual se encuentra resguardado en la Dirección General de Zoológicos y Vida Silvestre de la SEDEMA desde hace más de una década, siendo un paso fundamental en la conservación del acervo genético de la especie (Siminski 2015)

Para hablar de una verdadera conservación de esta especie es necesario realizar acciones de conservación *ex situ*. En 1998 se realizó la liberación de tres grupos familiares, (con un total de 11 ejemplares de lobo mexicano), en una zona protegida en los estados de Arizona y Nuevo México, denominada Blue Range (Zamora-Bárcenas 2011, Siminski 2011, 2012).

En el mes de octubre del 2011, se realizó en México la primera liberación de cinco ejemplares de lobo mexicano (tres hembras y dos machos provenientes de la UMA (Rancho la mesa) al medio silvestre; en la sierra de San Luis en Sonora, entre los estados de Chihuahua y Sonora. Lamentablemente, el 16 de noviembre de ese mismo año se confirmó la muerte de uno de los ejemplares y posteriormente el 6 de diciembre se confirmó la muerte de otros tres ejemplares de la manada, los análisis realizados a los cuatro ejemplares revelaron muerte por intoxicación (Siminski 2008, CONANP 2012, 2013).

Pese a estos acontecimientos, esfuerzos para la liberación de esta especie a su hábitat natural en el territorio mexicano, no se detuvieron. El 11 de abril del 2013 se llevó a cabo la liberación de dos ejemplares de lobo mexicano (procedentes del *Sevilleta Wolf Management Facility Center* a la Sierra Madre Occidental, estos ejemplares continuaron siendo monitoreados vía satelital y en el 2014 dicha pareja obtuvo el nacimiento de la primer camada en vida libre para México (CONANP 2013, 2014).

Actualmente, la población en vida libre se conforma por 56 ejemplares, de los cuales 53 se

encuentran en Estados Unidos, distribuidos en Parque Nacional del Blue Range en Arizona y en otras áreas de Nuevo México y los tres restantes están ubicados en la sierra de San Luis del estado de Sonora, México (USFWS 1982, Siminski 2015).

Conclusión y recomendaciones

Los programas de conservación *ex situ* del lobo mexicano han obtenido grandes logros a lo largo de los años, pero aún falta un gran camino por recorrer. Las instituciones involucradas en estos programas presentan como principal problemática la sobrepoblación de ejemplares bajo su resguardo, debido a que no existen las condiciones propicias para reintroducir a todos los ejemplares en su rango de distribución histórica. Esta situación orilló a los zoológicos de la Ciudad de México a limitar la reproducción de sus ejemplares (guardando el material en el banco de germoplasma), con la finalidad de evitar la sobrepoblación de individuos en cautiverio.

En este contexto, es necesario contemplar que para lograr una verdadera conservación del lobo mexicano, se requiere ligar completamente las acciones de conservación *ex situ* con los esfuerzos *in situ*, puesto que la preservación de una especie no solo implica su reproducción, si no que envuelve a los ecosistemas y las interacciones que la rodean. Las acciones de reproducción deben complementarse con acciones encaminadas a conservar, aumentar y restaurar las zonas de reintroducción; contemplando la educación y concientización de la sociedad con énfasis en los pobladores de las zonas aledañas a los sitios de reintroducción, venciendo el conflicto de intereses que representa la presencia del lobo mexicano en estas zonas para los poseedores de las tierras y del ganado, y haciendo hincapié en el valor biológico que posee esta subespecie para los ecosistemas.

Se requiere incrementar el número de instituciones en México que participen en este esfuerzo de conservación, así como los programas de investigación enfocados en la reproducción y conservación del lobo mexicano, además de mayor apoyo federal para realizar dichos programas.

Referencias

Baker, R.H. y Villa B. 1959. Distribución geográfica y población actuales del lobo gris en México. *Anales del Instituto de Biología*, UNAM 30:369-374.

Brown, D. 1983. *The wolf in the Southwest: The making of an endangered species*. University of Arizona Press. Tucson.

Chambers, S.M, S.R. Fain, B. Fazio y M. Amaral. 2012. An Account of the Taxonomy of North American Wolves. From Morphological and Genetic Analyses. *North American Fauna* 77:1–67.

CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2012. Comunicados de prensa: avances en la reintroducción del lobo mexicano. En: <*http://www.conanp.gob.mx/difusion/comunicado.php?id_subcontenido=259*>, última consulta: 25 de agosto 2013.

——. 2013. Comunicados de prensa: Avances en la Reintroducción del Lobo Mexicano (*Canis lupus baileyi*). Boletín de Actualización Especial Liberación de Abril 2013. En: <*http://www.encuentra.gob.mx/APF?q=bam&client=conanp*>, última consulta: 22 de noviembre 2013.

——. 2014. Comunicados de prensa: Avances en la Reintroducción del Lobo Mexicano (*Canis lupus baileyi*) Boletín de Actualización Especial Liberación de Abril 2013. En: <*http://www.conanp.gob.mx/difusion/comunicado.php?id_subcontenido=710*>, última consulta: 21 de septiembre 2015.

Hall, E.R. 1981. *The Mammals of North America*. John Wiley & Sons. New York, USA.

Hedrick, P., P. Miller, E. Geffen y R. Wayne. 1997. Genetic evaluation of the three captive Mexican wolf lineages. *Zoo Biology* 161:47–69.

INAH. Instituto de Antropología e Historia. 2013. Boletines de prensa: Especies animales ofrendadas en templo mayor. Junio 2013. En: <*http://www.inah.gob.mx/boletines/6-museos-y-exposiciones/6606-mas-de-400-especies-animales-eran-ofrendadas-en-templo-mayor*>, última consulta: 6 de febrero 2014.

INE y SEMARNAP. Instituto Nacional de Ecología y Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 1999. Proyecto de Recuperación del Lobo Mexicano (Canis lupus baileyi). México, D.F. En: <*http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=137* >, última consulta: 6 de mayo de 2016.

Lambert, N. 2007. Planeación para un Centro de Conservación y Crianza para Lobo Mexicano (Canis lupus baileyi, Nelson y Goldman, 1929) en la Zona de Influencia del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatépetl, México. UAM-Iztapalapa.

Leopold, A. 1959. Wildlife of Mexico: the game birds and mammals. Berckeley: University of California. Pp. 399-405. En: <*http://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=2RncXRJLxPkC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Leopold,++A.+1959.+Wildlife+of+Mexico:+the+game+birds+and+mammals&ots=EkJvFhPjW5&sig=YTbk8L1JxCPV6fmwvb55v3uSlIE#v=onepage&q=mexican%20lobo&f=false*>, última consulta: 10 de enero 2013.

McBride, R.T. 1980. The mexican wolf (*Canis lupus baileyi*) a historical review and observation on its status and distribution. Technical Report, USFWS.

Packard, J. y J. Bernal. 2000. Mexican Wolf. En: Endangered Animals: Conflicting Issues. R. Reading and B. Miller (eds) U.S.A. Greenwood Press.

Rivera, J. 2003. *Efectos del estrés sobre la calidad del semen en el lobo mexicano*. Tesis de maestría. Facultad de Medicna Veterinaria y Zootecnica, UNAM, México.

Savage, H. 1995. Waiting for el lobo. *Defenders* 70:8–15.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

Servín, J. 1991. Algunos aspectos de la conducta social del lobo mexicano (*Canis lupus baileyi*) en cautiverio. *Acta Zoológica* México 45:1-43.

——. 1996. Prospección y Búsqueda del lobo mexicano (*Canis lupus baileyi*) en el Estado de Durango. Informe Técnico. Instituto de Ecología/UNAM/CONABIO, México.

——. 2007. Distribución histórica, prospección actual y áreas potenciales para reintroducir lobo mexicano (*Canis lupus baileyi*) en Durango, sur de la Sierra Madre Occidental, México. Universidad Juárez del Estado de Durango. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. BE029. México.

Servín, J., E. Martínez-Meyer, P.G. Martínez, *et al*. 2006. *Distribución histórica, prospección actual y áreas potenciales para reintroducir Lobo mexicano* (*Canis lupus baileyi*) en México. CONABIO, México.

Siminski, D.P. 2008. *Mexican Wolf* (*Canis lupus baileyi*), *International Studbook*. The Living Desert, Palm Desert, California, U.S.A.

——. 2011. *Mexican Wolf* (*Canis lupus baileyi*) AZA Species Survival Plan. The Living Desert World Association of Zoos and Aquariums. California, U.S.A.

——. 2012. *Mexican Wolf* (*Canis lupus baileyi*). AZA Species Survival Plan. The Living Desert World Association of Zoos and Aquariums. California, U.S.A..

——. 2013. *Mexican Wolf (Canis lupus baileyi) International Studbook*. The Living Desert World Association of Zoos and Aquariums. California, U.S.A.

——. 2015. *Mexican Wolf (Canis lupus baileyi) International Studbook*. The Living Desert World Association of Zoos and Aquariums. California, U.S.A.

SMA. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2012. Programas y Acciones de Conservación ex situ. Pp: 50-54. En: Libro Blanco: Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad del Distrito Federal. México.

USFWS. U.S. Fish and Wildlife Service. 1982. Mexican wolf recovery plan. USFWS, Albuquerque, New Mexico.

Vargas-García, R. 2000. *Términos de uso común en epidemiología veterinaria*. Facultad de Medicina Veterinaria de la UNAM.

Villa, B. 1960. Combate contra lobos y coyotes del Norte de México. Anales del Instituto de Biología, UNAM 31:463-499.

Young, S. y E. Goldamn. 1944. *The wolves of North America*. Washington, DC. American Wildlife Institute.

Zamora-Barcénas, D. 2011. *Análisis de viabilidad poblacional del lobo Mexicano (Canis lupus baileyi) en la Sierra Madre Occidental*. Tesis de licenciatura en biología. Universidad Autónoma Querétaro,.

Conclusión y recomendaciones

Juan Arturo Rivera Rebolledo
María Guadalupe Méndez Cárdenas
Edith Georgina CabreraAguirre
Martha Beatriz Vega Rosales
Candys Michelle Montijo Arreguín

La Ciudad de México presenta características particulares que favorecen la convergencia de aspectos ecológicos, biológicos, culturales y urbanísticos (figura 1). A pesar de ser la capital política del país y una de las zonas urbanas más grandes del mundo, su variedad climática, historia natural, características geográficas y físicas, propician una gran biodiversidad. Sin embargo, diversos factores antropogénicos deterioran esta diversidad y la capacidad de los ecosistemas para brindar servicios ecosistémicos. No obstante, se han desarrollado e implementado diversas herramientas para su gestión y protección.

Estas estrategias tienen resultados favorables en cuanto a la protección de los recursos naturales, ecosistemas y servicios que brindan éstos últimos. Por ejemplo, la ciudad cuenta con 26 689.81 ha bajo alguna categoría de área natural protegida, es decir, 17.51% de su superficie. Además, la creación de la figura de áreas de valor ambiental considera espacios cuya importancia ecológica hasta entonces no había sido valorada. De la misma manera, la protección de las áreas verdes urbanas contribuye al mantenimiento de múltiples servicios ambientales como alimentación, protección y refugio de fauna silvestre, además de servir como fuente de germoplasma.

Si se consideran las presiones genéticas, demográficas y ambientales a las que está sujeta la vida silvestre por factores antropogénicos, los centros de conservación *ex situ*, se convierten en un pilar primordial para la protección y recuperación de la biodiversidad. Tal es el caso de los tres zoológicos de la Ciudad de México, los cuales contribuyen de manera activa en la reproducción y conservación de especies en peligro de extinción (algunas de ellas endémicas), como el gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*), el conejo zacatuche (*Romerolagus diazi*) y el ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*); además promueven programas para la conservación de estas especies en sus hábitats naturales. Del mismo modo, los jardines botánicos son importantes herramientas mediante las que se genera conocimiento sobre la diversidad vegetal y protocolos de cultivo y reproducción de especies silvestres. Cabe resaltar que los centros de conservación *ex situ* realizan una valiosa función como instrumentos de educación ambiental.

Como se menciona en esta sección, los logros alcanzados son de relevancia e impacto positivo sobre los ecosistemas naturales de esta ciudad. No obstante, el camino por recorrer es largo: las herramientas diseñadas para conservar la biodiversidad poseen problemática propia y específica; y se requiere contar con programas de manejo de recursos naturales que involucren a las comunidades e integren y planteen acciones a desarrollar en el corto, mediano y largo plazo. Es necesario fortalecer las políticas climáticas y ambientales de la entidad, de tal manera que, los programas y acciones emprendidos sean transversales a todas las instancias gubernamentales y los sectores de la sociedad, y que se garantice su financiamiento y continuidad más allá de los cambios administrativos.

Se precisa iniciar proyectos específicos que respalden y fomenten la ordenación y

Ribera-Rebolledo, J.A., M.G. Méndez-Cárdenas, E.G. Cabrera-Aguirre, M.B. Vega-Rosales y C.M. Montijo-Arreguín. 2016. Conclusión y recomendaciones. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.365-366.

conservación de la biodiversidad, a la par del mejoramiento jurídico de las herramientas para la conservación y la homologación de los criterios de zonificación y uso de suelo, empatando el desarrollo socioeconómico con el beneficio ecológico.

Es urgente desarrollar e implementar planes de manejo y programas de monitoreo de la flora y fauna silvestre, con especial énfasis en aquellas especies nativas y endémicas de la cuenca de México. La conservación de estas especies únicamente será posible si se conservan también sus hábitats naturales; para ello no sólo será necesario reforzar las acciones de restauración y protección de los ecosistemas, sino comprender y abordar la problemática desde una escala regional de los ecosistemas, es decir, considerando que la Ciudad de México forma parte de un sistema biogeográfico rico y complejo.

Actualmente, no existen las condiciones propicias para la reintroducción de las especies en su rango de distribución histórica. En este contexto, es necesario contemplar que para lograr una verdadera conservación se requieren articular las acciones de conservación *ex situ* con los esfuerzos *in situ*, debido a que la preservación de una especie no sólo implica su reproducción, si no que involucra a los ecosistemas y las interacciones que la rodean.

Los esfuerzos y estrategias de conservación deben partir de la sinergia y coordinación interinstitucional, a nivel biológico, social, político-administrativo y jurídico. Sólo de esta manera será posible enfrentar eficazmente las amenazas actuales a la biodiversidad, nulificando o por lo menos mitigando el impacto negativo sobre la conservación de los ecosistemas, sus recursos y los servicios ambientales que brindan.



Figura 1. San Bartolomé Xicomulco, delegación Milpa Alta. Foto: Agustín Rodríguez.





Hacia la estrategia

Foto: César Hernández Hernández.


10

Resumen ejecutivo

Hacia la estrategia

Sandra Janet Solís Jerónimo
Héctor Perdomo Velázquez

En esta sección se presenta, a manera de síntesis, un diagnóstico sobre el estado actual de la biodiversidad en la Ciudad de México, así como las principales líneas temáticas hacia la planeación estratégica de la entidad. Para el desarrollo de su contenido, se tomaron en cuenta las respuestas a un cuestionario que contestaron los coordinadores y autores de la presente obra, en el cual se identifican las lecciones, los retos y las oportunidades que deberán ser retomadas en la elaboración de la *Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad en la Ciudad de México.*

Perturbaciones históricas

Desde hace varios siglos, la destrucción de los hábitats originales es considerada como una de las principales causas que afectan a los ecosistemas y que ha modificado el sistema hidrológico de lagos para solventar las necesidades de agua de la población en los últimos años. Por otro lado, también se reconocen aquellos factores que son causa del cambio de uso de suelo como la sobreexplotación de los bosques para fabricar carbón y los incendios forestales; así como las actividades agrícolas que han promovido un incremento en la superficie de la mancha urbana y, a su vez, el establecimiento de asentamientos humanos irregulares para la vivienda y para la construcción de vías de comunicación.

Con la finalidad de abordar estas problemáticas y contribuir a reducir sus efectos sobre los ecosistemas, es prioritario armonizar en el corto plazo los instrumentos de planeación territorial. De igual forma, se busca establecer diversas figuras para la obtención y manejo de recursos, mediante fondos o fideicomisos para la restauración o para acciones de conservación.

Conocimiento e investigación

La generación de conocimiento y su accesibilidad son necesarias para la toma de decisiones adecuadas y oportunas para la conservación, protección y el uso sustentable de la biodiversidad. Como parte de este estudio de biodiversidad, se reconoció la falta de información, así como la dificultad para tener acceso a ella, y en este sentido, se reconocieron como prioridades para la generación de conocimiento el monitoreo de especies y su estado de conservación, la diversidad genética de especies nativas, los

Solís Jerónimo, S.J. y H. Perdomo-Velázquez. 2016. Resumen ejecutivo. Hacia la estrategia. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.371-373.

estudios poblacionales, los inventarios florísticos y faunísticos, los censos de áreas verdes, entre otros.

En cuanto a los servicios ecosistémicos presentes en la ciudad, se identificó que la información con la que cuentan los tomadores de decisiones para casi todos los servicios y regiones no es suficiente y la que hay, es poco accesible. Por ello, las oportunidades de acción deben estar enfocadas a la correcta instrumentación de las políticas territoriales y retomar el análisis realizado en la sección de Servicios Ecosistémicos de esta obra, para establecer las acciones que resulten pertinentes para la toma de decisiones.

Protección y conservación

En este aspecto, se identificaron los tipos de vegetación y las zonas prioritarias para la conservación como bosques templados, humedales y áreas de cañadas, matorral xerófilo, parques y jardines urbanos. También se reconoció la necesidad de dar importancia a las especies que se encuentran en la Norma Oficial Mexicana 059 (SEMARNAT 2010), entre otras, como el acocil de Xochimilco (*Cambarellus montezumae*), el ajolote (*Ambystoma mexicanum*), el mexclapique (*Girardinichthys viviparus*), los grandes mamíferos depredadores, las aves rapaces, entre otros, pues son especies clave para el mantenimiento de la biodiversidad.

Es importante destacar que las 23 áreas naturales protegidas existentes en el estado hasta el momento, no son suficientes en relación con las amenazas que enfrenta su biodiversidad y los retos futuros como el cambio climático. En este sentido, es necesario no sólo incrementar la superficie, también es importante que cada área natural protegida cuente con un plan de manejo que identifique las prioridades, metas para su conservación, así como los esquemas de evaluación y seguimiento.

Marco institucional y normativo

Se considera que la entidad cuenta con un marco normativo adecuado. Sin embargo, se reconoce que existe un campo de oportunidad para fomentar la coordinación entre los tres niveles de gobierno, para hacer más eficiente la aplicación de la justicia ambiental, mediante la aplicación adecuada de la legislación y la implementación de acciones, que contribuyen a mejorar la inspección y vigilancia. Es importante destacar que como parte de sus fortalezas, la Ciudad de México alberga la mayor parte de instituciones académicas y centros de investigación de amplia experiencia y calidad en nuestro país. Los coordinadores de este apartado reconocen que existe una gran oportunidad de generar mayor voluntad, compromiso y sensibilidad política en materia de biodiversidad, a partir de la elaboración de la Estrategia.

Factores de presión y amenazas

Asociado al análisis de las perturbaciones históricas, como factores que han disminuido el estado de conservación de la biodiversidad en la ciudad, también se considera que en años recientes el cambio de uso de suelo constituye una de las principales amenazas para el capital natural de esta entidad, ya que sus efectos generan consecuencias negativas como la pérdida de cobertura forestal, la disminución de la infiltración de agua y la fragmentación. Otra amenaza identificada es la contaminación, por sus afectaciones al agua, aire y suelo. Por otro lado, se determinaron condiciones de amenazas para los servicios ecosistémicos, principalmente en agua dulce, alimentos, recursos maderables y no maderables, recursos genéticos, regulación del clima, de la calidad del aire, de la calidad y flujos del agua, polinización, control de enfermedades humanas, control biológico de plagas, formación de suelo y sobre los servicios culturales. Al respecto, las oportunidades de implementar acciones que contribuyan a reducir las amenazas sobre los servicios ecosistémicos estarán en función de la correcta instrumentación de las políticas territoriales y la aplicación de las leyes y normas vigentes.

Gran parte de los factores de amenaza se encuentran vinculados al cambio climático y otros más abonan a los efectos que puedan tener tanto en el territorio urbano como en el suelo de conservación de la ciudad por lo que será fundamental llevar a cabo acciones de adaptación para las zonas urbana y rural. Tomando en cuenta lo anterior, la presente sección establece una visión general sobre las principales líneas de atención que en la *Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad en la Ciudad de México*, habrán de ser consideradas como elementos clave, para el planteamiento de acciones que contribuyan a mejorar el estado actual de la diversidad biológica en la entidad.

Hacia la estrategia para la conservación y el uso sustentable

Oscar Báez Montes
Andrea Cruz Angón

Descripción

La biodiversidad presente en la Ciudad de México ha cambiado como consecuencia de un conjunto de situaciones históricas, decisiones políticas e intervenciones sociales que han interactuado y hecho sinergia en distintos periodos, dando como resultado el paisaje actual. Comprender los cambios y analizar la situación presente de los ecosistemas de la entidad, es fundamental para establecer las políticas públicas pertinentes que aseguren su conservación en el largo plazo.

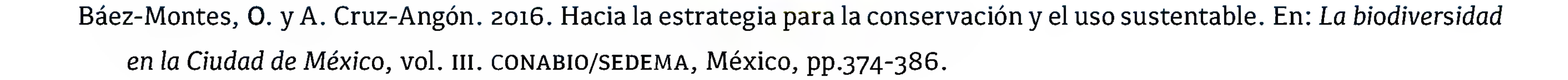
Este capítulo se desarrolló mediante el análisis de las respuestas a cuestionarios por parte de los coordinadores de sección y autores de capítulo, con la finalidad de identificar las principales lecciones aprendidas en la compilación de la obra *La biodiversidad en la Ciudad de México* y plantear algunos de los retos y oportunidades que deberán ser retomados en la elaboración de la *Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad en la Ciudad de México* (ECUSB-CDMX).

En primera instancia, se presenta una breve reflexión sobre las perturbaciones históricas y las principales causas de la pérdida y degradación de la biodiversidad, las cuales han incidido significativamente en los cambios existentes en la entidad. Posteriormente, se identifican los principales hallazgos de esta obra desde cuatro áreas que permitan perfilar la ECUSB-CDMX: 1) conocimiento e investigación, 2) protección y conservación, 3) marco institucional y normativo y 4) factores de presión y amenazas a la biodiversidad.

Perturbaciones históricas

En el caso de la Ciudad de México, las perturbaciones a sus ecosistemas se han originado por dos factores: 1) la destrucción de los hábitats originales y 2) las modificaciones derivadas de la urbanización. El primer factor data de hace varios siglos e incluye la modificación hidrológica del sistema de lagos —inmediatamente posterior a la Conquista— que se extendió hasta el punto en que, a mediados del siglo pasado, se tomó agua del lago de Xochimilco para solventar las necesidades de la creciente población, a través del trasvase de agua de una cuenca a otra. Asimismo, la sobreexplotación de los bosques para fabricar carbón y los incendios forestales han sido quizá la principal perturbación que ha provocado el cambio de uso de suelo.

El segundo factor se relaciona con el cambio de uso de suelo por actividades agrícolas, lo que ha incrementado la superficie de la mancha urbana y promovido el establecimiento de asentamientos humanos irregulares para vivienda y la construcción de vías de comunicación. La urbanización ha sido el origen de la mayoría de los factores históricos de perturbación identificados, fundados en diversas causas subyacentes, como son el crecimiento de la



Báez-Montes, O. y A. Cruz-Angón. 2016. Hacia la estrategia para la conservación y el uso sustentable. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III. CONABIO/SEDEMA, México, pp.374-386.

población y el modelo de desarrollo centralista que se mantuvo por diversas décadas. A su vez hubo causas sociales que favorecieron este crecimiento, como la carencia de oportunidades de trabajo en provincia y la compra por parte de diversas industrias de terrenos ejidales a grandes empresas (en algunos casos por el abandono de las tierras o la disminución de la fertilidad del suelo), lo cual promovió la inmigración, por la contratación temporal y los costos bajos en la mano de obra. Asimismo, diversos expertos reconocen la ausencia de una política en la planeación urbana que propicie tomar decisiones sobre el crecimiento de la ciudad.

Este panorama refleja que la conservación de la biodiversidad debe ser atendida mediante una aproximación compleja, para lo que resulta necesario unificar los instrumentos de planeación territorial con el objeto de: eliminar las contraposiciones entre los instrumentos publicados; promover reformas legislativas para que no se incentive el crecimiento poblacional; incrementar la distribución de los presupuestos en el tema; y aplicar la justicia ambiental, tanto por los casos pequeños de detrimento de los ecosistemas y sus especies, como por los evidentes cambios de uso de suelo derivados por muchos de los ejemplos mencionados anteriormente. Se plantea que se puedan establecer diversas figuras para la obtención y manejo de recursos, como pueden ser diversos fondos o fideicomisos para la restauración o para acciones de conservación.

Principales causas de la pérdida y degradación de la biodiversidad

Existe consenso entre la mayoría de los coordinadores de esta obra respecto a que el principal problema que afecta la conservación de la biodiversidad es el cambio de uso de suelo, ocasionado por la remoción de la cubierta vegetal tanto para actividades agrícolas como para la urbanización. Esto ha provocado problemas de fragmentación de ecosistemas, degradación de suelos, erosión, disminución de la superficie forestal, aumento de temperatura y probables cambios en la distribución de especies. En este aspecto se señaló como relevante la transformación que se hace de los hábitats, especialmente de los humedales y áreas de barrancas, que ha conducido a una pérdida de especies y de funciones relacionada con la carencia en la identificación de los valores de los ecosistemas o del conocimiento de sus funciones, lo que genera su eliminación.

El incremento en la demanda de servicios para la población ha provocado alteraciones en el ciclo hidrológico, cambios en la calidad del agua y el sellado de suelos, lo cual disminuye la capacidad de infiltración, contribuyendo al desbalance hídrico. Otra causa importante señalada es la deficiencia de planeación para el crecimiento del área urbana, pero también las limitantes en las alternativas productivas que tienen los poseedores de terrenos en el suelo de conservación. En este sentido, se señaló como causa paralela la deficiente vigilancia y aplicación de la normatividad.

A continuación se describirán los resultados obtenidos del análisis en los cuatro componentes principales identificados rumbo a la elaboración de una *Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad en la Ciudad de México*.

Conocimiento e investigación

La generación de conocimiento y su accesibilidad son necesarios para tomar decisiones adecuadas y oportunas para la conservación, protección y aprovechamiento de la biodiversidad. Se reconoció la falta de información, o la dificultad de tener acceso a ella, en casos de monitoreo de especies, estado de conservación y censos de áreas verdes, diversidad genética de especies nativas y programas de conservación de invertebrados, así como aspectos relacionados a su importancia cultural. También se señaló la falta de información y coordinación de las redes meteorológicas.

Los grupos biológicos sobre los que se detectó menor información fueron los siguientes: invertebrados, particularmente los fásmidos, tijerillas, mántidos, mariposas nocturnas, miriápodos y crustáceos; hongos, debido a que las estructuras formadoras de esporas son efímeras y se requieren varios años para completar su conocimiento, y aves. En cuanto a las plantas, se detectó que existe suficiente información, pero existen algunas familias cuyo estudio se encuentra incompleto, como en el caso de las compuestas (Compositae) y labiadas (Lamiaceae). Hubo coincidencia en el hecho de que hacen falta especialistas para cubrir las necesidades de información faltante, principalmente por ser grupos complicados (Compositae) en su taxonomía, pero también debido al bajo presupuesto que existe para desarrollar investigación. Además, se requiere mayor oferta de personal académico e investigadores en las universidades y centros de investigación. Otro asunto señalado es que se requiere sistematizar la información y hacerla pública.

En el caso los servicios ecosistémicos, resultó difícil encontrar información referente a casi todos los servicios y regiones de la ciudad, en especial sobre los ciclos biogeoquímicos, la producción de oxígeno, la productividad primaria, la formación de suelos, los recursos maderables y no maderables, la dinámica de dispersión de contaminantes, la capacidad de la vegetación de adsorción y deposición de contaminantes y los valores históricos, educativos y de belleza escénica. En ciertas zonas, algunos servicios se conocen mejor; por ejemplo, los culturales y de provisión están relativamente bien documentados en Xochimilco; los de provisión (agricultura, ganadería, productos maderables y no maderables) se concentran en delegaciones como Xochimilco, Milpa Alta y Tlalpan.

Por otra parte, existe un consenso en que la información con la que cuentan los tomadores de decisiones no es suficiente y es poco accesible. Sobre las prioridades para generar conocimiento y fortalecer las líneas de investigación en la ciudad (cuadro 1) , para lo cual se considera que en general se cuenta con los recursos humanos y tecnológicos en institutos de investigación, pero será fundamental dirigir recursos presupuestales hacia estas prioridades.

En general, se identifica carencia de información biológica en la mayoría de las regiones, especialmente en las delegaciones La Magdalena Contreras, Cuajimalpa, Tlalpan, Milpa Alta, Gustavo A. Madero, Iztapalapa y Tláhuac. Ésta puede estar asociada con la falta de especialistas o de interés por parte de las autoridades y de los investigadores.

Una de las herramientas utilizadas en esta obra sobre registros de especies es la que presenta el Sistema Nacional de Información sobre la Biodiversidad (SNIB), la cual resultó importante para el caso de las plantas. Sin embargo, se detectó que varios registros se encuentran repetidos o con información incompleta y que existen algunos grupos con poca información, por ejemplo, invertebrados y hongos.

En cuanto a la generación de conocimiento que contribuya a la conservación *in situ*, se recomienda que los estudios se dirijan a las regiones boscosas (ya que son las más abundantes), con particular atención al aprovechamiento de recursos no maderables (especies de musgos), a las dinámicas poblacionales de encinares y a sus servicios ecosistémicos, principalmente en áreas naturales protegidas (ANP) y unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA). Para esto es necesario sistematizar la información ya existente y simplificar el acceso a ella.

También se requieren estudios etnobiológicos (fauna y flora). Del grupo de fauna se identificó la importancia de realizar estudios, en el grupo de los artrópodos, en abejas, luciérnagas y para mamíferos (puma, ocelote, coyote y zorra gris).

El conocimiento sobre los usos de la biodiversidad suele encontrarse de forma dispersa y, en algunos casos, se encuentra acotado a información general y con ausencia de la documentación de usos a nivel local,

Cuadro 1. Prioridades de generación de conocimiento.

Monitoreos de especies
Estudios poblacionales
Inventarios florísticos y faunísticos (invertebrados y vertebrados) por regiones y hábitats
Biología básica de especies, ecología y de sus estados de conservación
Vulnerabilidad a la extinción (ocasionados por el incremento de la mancha urbana y por el calentamiento global)
Etnobotánica e identificación de compuestos activos de plantas
Usos de plantas (medicinales, industriales y alimenticias)
Especies y zonas para espacios verdes en el área urbana
Generación de información accesible y con enfoque para un público no especialista
Restauración de hábitats (Ajusco)
Sistemas de información geográfica para la biodiversidad
Evaluación de programas de restauración
Plagas y enfermedades forestales
Caracterización del cambio de uso de suelo
Genética de poblaciones
Educación ambiental
Relaciones filogenéticas entre especies domesticadas y sus parientes silvestres
Afecciones genotípicas a largo plazo por cambio climático
Fuente: elaboración propia.

o a la homologación con los usos que tienen las especies al interior de la república o incluso en otros países.

Se reconoce que el conocimiento tradicional puede estarse perdiendo debido a razones de índole compleja, entre las que se identifican: el desplazamiento por la oferta en productos de diversas industrias (como la alimenticia o farmacéutica); la falta de comunicación intergeneracional que permitía la conservación del conocimiento de forma oral, que puede estar vinculada con el desinterés de las nuevas generaciones y el modo acelerado con el que se vive en las ciudades; pero también con el pensamiento lineal, para el que sólo el conocimiento científico vale, lo que produce un desprecio hacia los saberes tradicionales y multiculturales. Por lo anterior, resulta necesario fortalecer líneas de investigación y formar especialistas en el tema, así como fomentar la formación de capacidades sobre este conocimiento a través de la educación formal y no formal.

Protección y conservación

En un ejercicio por reconocer los tipos de vegetación, zonas y especies prioritarias para la conservación en la Ciudad de México, se identificaron, en orden de prioridad de atención, los siguientes:

1) *Bosques templados*. Incluyen los bosques de encino (*Quercus* spp.), pino (*Pinus* sp.) y oyamel (*Abies religiosa*), debido a que son fundamentales para la provisión de agua dulce, recursos maderables y no maderables y para el mantenimiento de las condiciones climáticas. Asimismo participan en la deposición de contaminantes atmosféricos y protección del suelo y son el hábitat de una riqueza biológica importante, además de que estas áreas se encuentran amenazadas por el cambio de uso de suelo.
2) *Humedales y áreas de cañadas*. Son relictos de los ecosistemas de antaño, cuya función es fundamental en la regulación del ciclo

hidrológico y del clima. Al ser la zona de transición entre ambientes terrestres y acuáticos, incrementa la riqueza biológica por ser sitios de refugio y alimentación para organismos que habitan en estas condiciones. Su permanencia es fundamental para el control de flujos de agua y mitigar efectos de lluvias intensas, disminuyendo el riesgo de inundaciones.

3) *Matorral xerófilo*. Ubicado en el Pedregal de San Ángel, la sierra de Guadalupe, la sierra de Santa Catarina y el cerro de la Estrella, se identifica por su relevancia en aspectos de regulación climática, recarga de acuíferos, protección de suelo y de organismos que habitan en ella.
4) *Parques y jardines urbanos*. Existe un gran interés en su conservación, por la función que pueden representar para el bienestar de la sociedad, además de que se reconocen como espacios de cultura, recreación y conservación *ex situ*. Asimismo, muchos de ellos requieren de una planeación para comenzar a cambiar las especies exóticas conforme a la norma especializada, entre éstos se puede mencionar la primera sección del bosque de Chapultepec, la Alameda (central, oriente, poniente, sur), el bosque de Aragón y el Parque Bicentenario.

Estas propuestas de conservación de tipos de ecosistemas y vegetación concuerdan con las regiones identificadas como prioritarias para conservar; por ejemplo, la región de Bosques y Cañadas (Tlalpan, Milpa Alta, bosques urbanos como el tepozán, Parque Ecológico de la Ciudad de México, Sierra de las Cruces) y la de Humedales de Xochimilco y Tláhuac.

Aunque en general se reconoció que todas las especies tienen una función en los ecosistemas en los que habitan, se recomendó poner especial atención en aquellas que están en alguna categoría de riesgo según a la Norma Oficial Mexicana 059 (SEMARNAT 2010); pero también se señaló que existen algunas que no se consideran en riesgo debido a la falta de datos. Los grupos biológicos de los cuales se mencionó la relevancia de su conservación fueron: los invertebrados, como el acocil de Xochimilco (*Cambarellus montezumae*) y el grupo de insectos (mariposas, abejas y escarabajos); los grandes mamíferos depredadores, pues son especies clave para el mantenimiento de la diversidad y regulación de poblaciones; los reptiles y anfibios, que son sensibles a los cambios ambientales; y las aves rapaces, tarántulas, alacranes, mantis, avispas y ciempiés, que son depredadores clave en sus distintos niveles (cuadro 2).

Actualmente el sistema de áreas naturales protegidas de la Ciudad de México, cuenta con 23 ANP y un área comunitaria de conservación ecológica, que incluye áreas representativas de los ecosistemas y de los servicios ecológicos que mantienen, en 17% del suelo de conservación. Sin embargo, existe un consenso en que estas áreas no son suficientes en relación con las amenazas que enfrenta la biodiversidad y los retos como el cambio climático, ya que los modelos indican que la distribución de las especies tendrá modificaciones. En este contexto se identificaron áreas importantes en las faldas del Xitle, en el Ajusco, y en los bosques de Tlalpan y Milpa Alta que deberían de incluirse en el sistema. Resulta necesario no sólo contar con suficientes ANP y áreas verdes urbanas (de acuerdo con los estándares internacionales *per capita*), sino también con planes de manejo que identifiquen las prioridades y metas de conservación claras, que se puedan evaluar de forma continua y que presenten un manejo adaptativo.

Marco institucional y normativo

Se considera que la Ciudad de México cuenta con un marco normativo adecuado y que está a la vanguardia en diversos temas a nivel nacional, lo que ha fortalecido el ámbito de su competencia en el marco normativo federal. Aun con esto, se reconoce que existe un campo de oportunidad para fomentar la coordina-

Cuadro 2. Especies prioritarias para conservación.

Nombre común	Nombre científico
Mexclapique	*Girardinichthys viviparus*
Rana tláloc	*Litobathes tlaloci*
Rana del pedregal	*Eleutherodactylus grandis*
Ajolote	*Ambystoma mexicanum*
Lagartijo cornudo	*Phrynosoma* sp.
Culebra listonada de montaña cola corta	*Thamnophis scaliger*
Culebra de agua de panza negra	*Thamnophis melanogaster*
Matraca barrada	*Campylorhynchus megalopterus*
Gorrión serrano	*Xenospiza baileyi*
Pibí boreal	*Contopus cooperi*
Vireo de bell	*Vireo belli*
Chipe cristal	*Oreothlypis peregrina*
Colorín sietecolores	*Passerina ciris*
Zacatuche	*Romerolagus diazi*
Murciélago hocicudo mayor	*Leptonycteris nivalis*
Murciélago hocicudo menor	*Leptonycteris yerbabuenae*
Musaraña de orejas pequeñas del centro de México	*Cryptotis alticola*
Musaraña	*Cryptotis parva*
Ardilla de peter	*Sciurus oculatus*
Ratón cosechero dientes pequeños	*Reithrodontomys microdon*
Tejón	*Taxidea taxus*
Ahuehuete	*Taxodium mucronatum*
Ayacahuite	*Pinus ayacahuite*
Sauz	*Salix bonplandiana*
Aile	*Alnus acuminata*
Táscate	*Juniperus deppeana*
Encino roble	*Quercus rugosa*

Fuente: elaboración propia.

ción entre los tres niveles de gobierno y hacer eficiente la aplicación de la justicia ambiental (como mejorar la vigilancia y los mecanismos de aplicación de la legislación).

Las dependencias encargadas del tema ambiental tanto del gobierno de la Ciudad de México y sus municipios requieren fortalecimiento para contar con personal suficiente, con capacidades adecuadas para la gestión, planeación, toma de decisiones e implementación de acciones en materia de biodiversidad. A su vez, se identifica a la corrupción como una actividad que debe erradicarse en todos los organismos, para lo que se pueden establecer observatorios ciudadanos, encargados de señalar acciones de ésta índole y que sean capaces de agilizar la denuncia de actos delictivos en detrimento de la biodiversidad.

El tema presupuestal suele ser común en la mayoría de las dependencias. Sin embargo, éste se puede fortalecer canalizando recursos derivados de sanciones ambientales, permisos e instrumentos para la captación de fondos ambientales, como puede ser el caso de algunos de los servicios ecosistémicos.

Los coordinadores de esta obra reconocen que existe una gran oportunidad de poder generar una mayor voluntad, compromiso y

sensibilidad política en materia de biodiversidad, especialmente después de que se elabore la ECUSB-CDMX, ya que a partir del consenso de los principales actores encargados del manejo y la conservación de la biodiversidad en la entidad, será posible contar con una política pública cuyo eje rector sea la biodiversidad. Con ello se podrán identificar las acciones, los actores y los plazos que tendrán, para asegurar que los esfuerzos continúen entre los cambios de gobierno.

Uno de los activos más importantes es la calidad de las instituciones de gobierno y centros de investigación presentes en la entidad; sin embargo, debe continuarse con la formación de especialistas y generar convocatorias para el desarrollo de proyectos de investigación en el territorio capitalino, con base en las prioridades mencionadas anteriormente (cuadro 1), y en las delegaciones y ecosistemas donde existe menos información.

Institucionalmente se ha puesto especial atención al tema del conocimiento de la biodiversidad en la ciudad, lo cual ha permeado en la educación formal. Un ejemplo de esto es el haber incluido en los libros de texto de la educación primaria lecturas y temas relacionados con la biodiversidad y su conservación. Aun así es necesario generar capacidades para la reflexión, toma de decisiones y formulación de acciones propositivas e innovadoras para la conservación de la biodiversidad y sus usos, enfatizando los servicios ecosistémicos que proveen bienestar social para quienes habitan la ciudad. Asimismo, es necesario incluir el tema de biodiversidad en los programas de educación técnica y profesional en aquellas carreras que estén involucradas con la toma de decisiones en temas de conservación y su transversalidad en diversas materias durante la formación básica de los estudiantes. Esto deberá complementarse con proyectos en las comunidades de ANP, UMA, áreas voluntarias para la conservación entre otros.

En el cuadro 3 se presentan algunas de las barreras más importantes que deberían tomarse en cuenta y desarrollarse con mayor detalle durante la formulación de la *Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad en la Ciudad de México* (ECUSB-CDMX).

Factores de presión y amenazas a la biodiversidad

En general, se determinó la relevancia que tienen algunas amenazas que generan sinergias de detrimento de los recursos biológicos, identificándose como la principal el cambio de uso de suelo, ya que genera una pérdida de cobertura forestal, disminución de la infiltración de agua, mayor erosión, aumento en la velocidad de caudales que provocan inundaciones, pérdida de la capacidad de regulación climática y alteración de los ciclos biogeoquímicos, fragmentación, aumento de especies exóticas e invasoras, transformación de hábitats, disminución de la resiliencia, entre otras. Lo anterior podría estar derivado de una ausencia de políticas públicas claras sobre el crecimiento poblacional y de la mancha urbana en el territorio. Otra de las principales amenazas identificadas es la contaminación, que puede estar relacionada con afectaciones al agua, aire y suelo.

Se reconoce que existe un desconocimiento de la importancia que tiene la biodiversidad y ello resulta en que lo ambiental pase a segundo plano; pero también la carencia de conocimiento básico sobre la biología de las especies, sus estados de conservación y de las interacciones que en ella se realizan (cuadro 1), lo cual podría estar motivando esta devaluación de los recursos biológicos.

El grupo de coordinadores identificó a los ecosistemas mayormente amenazados en la Ciudad de México: 1) humedales, han tenido una pérdida histórica relevante y los factores de presión continúan sobre ellos; 2) bosques templados, que incluyen los bosques de encino, de pino, de oyamel y los enclaves de mesófilo de montaña (que incluso algunos autores lo consideran eliminado); 3) matorral xerófilo,

Cuadro 3. Barreras a considerar para formular una *Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad en la Ciudad de México.*

Barreras	Descripción	Acciones	Responsable
Normativas	Falta de marco jurídico para proteger la biodiversidad de ciertas actividades extractivas (por ejemplo, la bioprospección), ya que en el marco normativo existente se promueve el desarrollo neoliberal que beneficia a corporaciones transnacionales y Estados-nación centrales, dejando de lado a la sociedad local y vulnerando la integridad de la biodiversidad.	Modificar o establecer un marco legislativo apropiado a las necesidades nacionales y especialmente regionales y locales, para de esa manera llegar a un verdadero desarrollo integral de la sociedad, lo que se reflejaría en el uso responsable de los recursos naturales.	Todos los niveles de gobierno, en particular el estatal y municipal, habrán de establecer agendas articulares. Secretarías federales y sus delegaciones regionales o estatales. Instituciones de investigación y académicas.
	Falta de leyes sobre crecimiento poblacional y urbano.	Implementar leyes claras y severas para regular el crecimiento poblacional y urbano.	Poder legislativo, organizaciones de la sociedad civil (OSC).
	Ambigüedad jurídica respecto al grado de protección y aprovechamiento de las ANP.	Revisión de la redacción y tecnicismos de la normatividad correspondiente.	Poder legislativo, Autoridad Ambiental Estatal
	Ausencia de una política en materia de biodiversidad.	Institucionalizar la atención para la biodiversidad y la elaboración e implementación de la Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad de la Ciudad de México.	Autoridad Ambiental Estatal Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial de la Ciudad de México (PAOT), instituciones académicas, centros de Investigación, OSC, ejidatarios y propietarios de ANP.
	Incumplimiento de las leyes ambientales locales y sanciones escasas (falta de recursos humanos para vigilancia y aplicación de sanciones).	Fortalecimiento institucional de la PAOT y de esquemas de denuncia ciudadana.	Autoridad Ambiental Estatal, PROFEPA, CONAGUA.
Presupuestales	Insuficiente presupuesto para acciones de conservación y manejo de las ANP.	Destino de mayor presupuesto. Formulación de fondos para la conservación de la biodiversidad derivados de sanciones ambientales	Poder Legislativo y Ejecutivo Autoridad Ambiental Estatal, OSC
	Reparto de presupuesto y programas gubernamentales (en su mayoría asistencialistas) promueven el paternalismo, lo cual resulta poco útil a la conservación de los recursos naturales.	Enfocar el reparto de presupuesto y programas al desarrollo de actividades y propuestas "desde abajo", donde las comunidades locales tengan una participación activa y consciente en la conservación.	Gobierno de la Ciudad de México.
	Inversión en investigación y desarrollo tecnológico extremadamente baja.	Mayor inversión en la investigación y desarrollo de tecnología.	Gobierno de la Ciudad de México, Secretaría de Ciencia y Tecnología, OSC y sector académico.
	Falta de incentivos económicos para quien proporciona servicios ecosistémicos.	Desarrollo de esquemas de pago por servicios ecosistémicos.	Secretaría de Medio Ambiente la Ciudad de México (SEDEMA), PAOT, CONAFOR, Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), ejidatarios y propietarios en ANP, universidades y centros de investigación.
Gestión y operativas	El gobierno federal, el estatal y la mayoría de las delegaciones conservan un sistema burocrático que dificulta la gestión en todos los ámbitos. La corrupción y reparto presupuestal asimétrico dificultan la administración.	Reestructuración del sistema administrativo en los niveles altos de gobierno. Contratación de personal capacitado y evaluación del actual. Generar esquemas de capacitación anuales especializados para el personal de las distintas áreas.	Gobiernos delegacionales, Gobierno la Ciudad de México.

Cuadro 3. Continuación.

Barreras	Descripción	Acciones	Responsable
	Desvinculación entre instituciones.	Fomentar convenios de colaboración interinstitucional para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad.	Autoridad Ambiental Estatal, universidades, centros de investigación.
	Discontinuidad entre los programas que inician durante una gestión de gobierno y la que sigue.	Crear un organismo gestor de programas de conservación similar a CONABIO.	Gobierno de la Ciudad de México, gobiernos delegacionales.
	Falta de evaluación, actualización y continuidad en los proyectos de conservación.	Coherencia interinstitucional respecto a las políticas y su impacto en la diversidad biológicas. Inclusión de metas medibles en la Estrategia.	Gobierno de la Ciudad de México, Autoridad Ambiental Estatal Consejo de Evaluación del Desarrollo.
Tecnológicas	Dependencia del desarrollo tecnológico extranjero.	Promover el desarrollo de tecnología dentro del país, la cual debe responder a las realidades locales y nacionales.	Secretaría de Ciencia y Tecnología, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), poderes Ejecutivo y Legislativo, universidades, centros de investigación
	Falta de conocimientos para un manejo adecuado del arbolado.	Dotar de equipo y capacitación para las distintas tareas de mantenimiento de áreas verdes urbanas.	Gobiernos delegacionales y estatales.
	Desconocimiento de tecnologías enfocadas a la remediación.	Difusión y transferencia de paquetes tecnológicos a usuarios.	Secretaría de Ciencia y Tecnología, CONACYT, universidades.
	Falta de capacitación y conocimientos técnicos y científicos para el manejo de la biodiversidad.	Desarrollar e implementar esquemas de capacitación y actualización permanente para el personal responsable de la aplicación de la ley.	Secretaría de Educación Pública (SEP), colegios de profesionistas.
Económicas	Salarios bajos de funcionarios de dependencias ambientales	Mejorar las condiciones de los trabajadores.	Gobiernos delegacionales.
	Dependencia del país de un modelo económico mundial.	Propiciar proyectos sustentables en comunidades con sitios y ecosistemas prioritarios para la conservación.	Autoridad Ambiental Estatal Secretaría de Desarrollo Económico (SEDECO), Secretaría de Turismo (SECTUR).
	Grupos sociales, pobres o marginados en sitios de alta biodiversidad.	Mejorar el PSA e incentivar la participación de todos los comuneros y ejidatarios.	Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), SEMARNAT, Secretaría de Desarrollo Rural y Equidad para las Comunidades (SEDEREC), SMA.
	Degradación de los ecosistemas y sus servicios ambientales por el cambio de uso de suelo.	Revisión y aplicación de instrumentos territoriales. Fortalecer la regulación, vigilancia y aplicación de las leyes en la materia.	PAOT, PROFEPA, CONAGUA, SEMARNAT, SMA
	Pérdida de prácticas tradicionales	Fomentar la conservación de saberes.	SEDECO, SEDEREC, Secretaría de Cultura.
Organizacionales	Centralismo por parte de Gobierno Federal, que propicia un desentendimiento de las realidades regionales o locales, lo que resulta en conflicto y en una falta absoluta de organización y vulnera así la integridad de los recursos naturales.	Favorecer la descentralización de funciones, incrementando las capacidades de gobiernos delegacionales, para de esa manera atender necesidades locales, las cuales conocen mejor sus recursos y llegarán a una mejor gestión de éstos.	SEMARNAT, CONANP, CONAFOR, gobiernos delegacionales, Gobierno de la Ciudad de México.
	Falta de coordinación entre las instancias gubernamentales.	Impulsar la coordinación entre las distintas dependencias que pueden resolver un mismo problema de mejor manera.	Gobiernos delegacionales, Gobierno de la Ciudad de México.

Cuadro 3. Continuación.

Barreras	Descripción	Acciones	Responsable
	Hay demasiadas instituciones encargadas de los mismos rubros.	Reestructuración de secretarías, creación de nuevas, acordes con las necesidades de conservación y administración.	Gobiernos delegacionales, Gobierno de la Ciudad de México, SEMARNAT, CONABIO, CONAFOR, INECC.
	Falta de coordinación y comunicación entre las autoridades ambientales de los gobiernos locales, federales y estatales, que están involucradas directa o indirectamente con la conservación de la biodiversidad.	Formación de un comité interinstitucional e intersecretarial para trabajar con el mismo eje rector: la conservación de la biodiversidad.	
Conducción/ liderazgo	Falta de tomadores de decisiones capacitados en el tema.	Profesionalizar la selección de cargos públicos con base en perfiles y capacidades.	Secretaría de Gobierno. Gobiernos delegacionales y sus distintos departamentos
	Problema entre los ejidatarios y comuneros por las tierras en litigio.	Establecer evaluación y peritajes, así como mesas de negociación para la resolución de conflictos.	
	Falta de personal profesional para el manejo del arbolado.	Contratar especialistas en el manejo de árboles y dar continuidad al personal para que ello cause un buen rendimiento.	
Mandato/política	Corrupción y nepotismo.	Contratar al personal mejor capacitados y establecer observatorios ciudadanos.	Gobierno estatal, delegacional y sociedad civil. Gobierno federal y local. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Ciudad de México (SEMARNAT), CONABIO, universidades, sociedad civil, Autoridad Ambiental Estatal
	Discontinuidad entre los programas que inician durante una gestión de gobierno y al siguiente.	Crear un organismo gestor de programas de conservación similar a CONABIO.	
	Tomadores de decisiones con un conocimiento muy superficial de los beneficios y problemas que representa la biodiversidad.	Realizar campañas de sensibilización para funcionarios de altos niveles respecto a la relevancia de la biodiversidad en el mantenimiento del bienestar social.	
Otras	Escasa educación ambiental.	Creación de un programa de educación ambiental para la biodiversidad.	Instituciones educativas, gobiernos delegacionales y OSC.

Fuente: elaborado por los autores.

presentes en la sierra de Guadalupe, la sierra de Santa Catarina y el cerro de la Estrella.

La pérdida y degradación de la biodiversidad conlleva también una remoción de los servicios ecosistémicos. En el cuadro 4, se enuncian aquellos servicios con mayores amenazas, ordenados por prioridad para su atención.

Los servicios de regulación y de soporte probablemente enfrenten más riesgos por lo poco que se sabe de ellos en general, y en particular en la Ciudad de México, donde para muchos servicios no se cuenta con ninguna información. Ante la falta de conocimiento, las acciones de conservación son mucho más difíciles de determinar y de implementar. Las oportunidades de acción deben estar enfocadas a la correcta instrumentación de las políticas territoriales, la adecuada vigilancia y aplicación de sanciones contra delitos ambientales, especialmente en aquellos que desencadenan una serie de "efectos dominó" (como el cambio de uso de suelo). Se requieren programas para que los servicios ecosistémicos sean valorados por la sociedad, entre los que habría que considerar uno de pago por servicios ambientales (PSA), más atractivo y mejor estructurado, que fomente la conservación de los ecosistemas y de sus especies. Aunque no se

Cuadro 4. Servicios ecosistémicos más amenazados.

Servicio ecosistémico	Tipo	Condición de la amenaza
Provisión	Agua dulce	Alteración del ciclo hidrológico
		Crecimiento en la demanda de agua
		Sobreexplotación del acuífero
		Dependencia de fuentes externas
		Agotamiento de los acuíferos
	Alimentos	Reducción de las superficies aptas por el crecimiento urbano
		Desaparición y contaminación de los cuerpos de agua
	Recursos maderables y no maderables	Tala clandestina
		Sobrepastoreo
		Cambio de uso de suelo
		Incendios forestales
		Saqueo de tierra
	Recursos genéticos	Urbanización
		Pérdida del hábitat de las especies
		Pérdida del conocimiento tradicional agrícola
		Introducción de especies transgénicas
Regulación	Regulación del clima	Pérdida de la humedad
		Incremento en la temperatura
		Incidencia de fuertes vientos
		Sequías
		Ocurrencia de enfermedades
	Regulación de la calidad del aire	Contaminación atmosférica
		Modelo de desarrollo que favorece el consumismo
	Regulación de la calidad del agua	Pérdida de la capacidad de asimilación de contaminantes
		Aumento en la cantidad de aguas residuales
		Contaminación de los escurrimientos naturales
		Uso de ríos y humedales como drenajes
		Cambios en la composición y estructura de ecosistemas ribereños
	Regulación de flujos de agua	Disminución de la capacidad de infiltración
		Incremento en los volúmenes de escurrimiento superficial de los suelos de conservación
		Aumento en el riesgo de inundaciones
	Polinización	Uso de pesticidas y la destrucción de cuevas en donde habitan murciélagos
		Fragmentación de hábitats
	Control de enfermedades humanas	Aumento en la incidencia de especies exóticas transfieren agentes patógenos externos hacia la fauna silvestre, así como patógenos silvestres hacia poblaciones humanas
		Falta de cuidado en el manejo de animales de granja y sus productos
	Control biológico de plagas	Incremento de mancha urbana y de su magnitud

Cuadro 4. Continuación.

Servicio ecosistémico	Tipo	Condición de la amenaza
Soporte	Formación de suelo	Degradación de los ecosistemas forestales y agrícolas
		Pérdida de cubierta vegetal
Culturales	Presiones por el crecimiento urbano Sobreexplotación de ecosistemas y especies Globalización cultural Desarrollo Inmobiliario Pérdida de incentivos sociales y económicos que mantienen los vínculos del campesino de la Ciudad de México Desaparición de un vínculo estrecho con el ambiente	

Fuente: elaborado por los autores.

mencionó de forma implícita, muchos factores de amenaza se encuentran vinculados al cambio climático (incremento en la temperatura, disminución de la humedad) y otros más abonan a los efectos que pueda tener en la Ciudad de México (incremento de la mancha urbana, pérdida de cobertura vegetal; cuadro 4). Por lo que serán fundamentales las acciones de adaptación que tendrán que implementarse tanto en la zonas urbana como rural, ante un fenómeno cada vez más plausible.

Se recomienda que los programas que actualmente realizan diversas dependencias sean integrales, que en ellos se ataque de forma integral estas amenazas y los problemas subyacentes que inciden como situaciones catalizadoras de fondo en diversos aspectos. Un ejemplo en el ámbito social, es la necesidad de vivienda para la población, y cada vez más se incrementa la demanda de servicios, con un rezago y marginación social en comunidades establecidas en o cerca del suelo de conservación de la ciudad. En el aspecto económico, influye la falta de trabajo bien remunerado, la centralización de actividades económicas empresariales, el hecho de que en el balance tiene mayor peso lo económico que el medio ambiente, la falta de apoyos a los habitantes de las zonas para proteger por su conservación y presupuestos limitados e insuficientes en este tema.

Los factores políticos que motivan la continuidad de estas amenazas se pueden vincular a que los temas ambientales no tienen el peso político que deberían tener, en ocasiones por desconocimiento y en otras por la falta de voluntad política, compromiso o sensibilidad; por lo cual quedan frecuentemente incorporados a muchas decisiones de forma marginal, superficial y poco trascendente. Existen privilegios de algunos grupos de gran poder económico, que llegan inclusive a permitirles transgredir normas y leyes vigentes, haciéndose fehaciente la falta de aplicación de justicia ambiental. En otros casos, existe una inconsistencia entre políticas públicas y algunos programas suelen ser contradictorios con el uso sustentable. También se señala la ausencia de vinculación de los tomadores de decisiones con instituciones que tienen personal especializado en el tema, como institutos y facultades de instituciones universitarias.

Los aspectos culturales están vinculados a una carencia de comprensión generalizada entre la población y a que hay una educación ambiental deficiente o incluso ausente, en cuanto al tema de la biodiversidad.

Por tal motivo, el abordaje de la ECUSBCDMX requerirá de una visión de la complejidad que englobe sus distintos ámbitos, pero sin perder de vista el objetivo principal, que

deben ser la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad.

Del Distrito Federal a la Ciudad de México

Reformas constitucionales recientes han dado el estatus de estado al Distrito Federal, ahora Ciudad de México. Próximamente habrá de elegirse la Asamblea Constituyente encargada de formular el documento rector de la vida pública de este nuevo estado: la Constitución Política de la entidad. Lo anterior traerá algunas modificaciones evidentes, por ejemplo: se elimina la figura jurídica de las delegaciones políticas y se crean las demarcaciones territoriales de la Ciudad de México, que serán encabezadas por un alcalde y concejales para la toma de decisiones presupuestales y de ejecución del gasto; desaparece la Asamblea Legislativa y se convierte en un Congreso local, con lo que adquiere la facultad para aprobar o rechazar reformas constitucionales, como el resto de los congresos estatales. Asimismo, la entidad adquiere la obligación de vigilar cómo se ejercen y administran los recursos federales en las demarcaciones territoriales.

Por otro lado, el proceso de formulación y consulta de la Constitución Política de la Ciudad de México abre una oportunidad sin precedentes para integrar consideraciones de conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos presentes en la entidad, con la finalidad de asegurar el derecho de los habitantes de la ciudad a un ambiente sano. Lo anterior debería propiciar una mejora en la toma de decisiones, en particular, en lo referente a los procesos de urbanización e impacto ambiental, con lo cual la Ciudad de México confirmaría su vanguardia nacional en reformas políticas que favorecen los derechos humanos de sus habitantes.

La formulación de la *Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad en la Ciudad de México*, es el marco estratégico ideal para identificar las oportunidades y prioridades, que idealmente deberán ser tomadas en cuenta cuando se redacte dicha Constitución Política. De igual manera, la presente obra provee argumentos científicos sólidos sobre la importancia de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos para el bienestar de las y los habitantes de esta ciudad.



Nuestros autores

Acosta Gutiérrez, Roxana
Universidad Nacional Autónoma de México
roxana_a2003@yahoo.com.mx

Aguilar Aguilar, Rogelio
Universidad Nacional Autónoma de México
raguilar@ciencias.unam.mx

Aguilar Arellano, Felisa Josefina
Instituto Nacional de Antropología e Historia
felisaaguilar@yahoo.com.mx

Aguilar Ibarra, Alonso
Universidad Nacional Autónoma de México
aaguilar@iiec.unam.mx

Aguilar Martínez, Adrián Guillermo
Universidad Nacional Autónoma de México
adrianguillermo1@gmail.com

Almeida Leñero, Lucia
Universidad Nacional Autónoma de México
lucia0950@ciencias.unam.mx

Álvarez Pliego, Nicolás
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
nicolas.alvarez.pliego@gmail.com

Aranda Chalé, Paulina
Max Delbrück Centrum für Molekulare Medizin
paulina.chalearanda@mdc-berlin.de

Aranda Sánchez, Jaime Marcelo
Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
jmaranda@conanp.gob.mx

Arroyo Cabrales, Joaquín
Instituto Nacional de Antropología e Historia
arromatu@hotmail.com

Ávalos Hernández, Omar
Universidad Nacional Autónoma de México
omaravalosh@ciencias.unam.mx

Ávila Flores, Rafael
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
rafaelavilaf@yahoo.com.mx

Azpra Romero, Enrique
Universidad Nacional Autónoma de México
ear1@atrmosfera.unam.mx

Báez Montes, Oscar
biologo.oscar.baez@gmail.com

Bastida Gasca, María Concepción
1208@magnolia@gmail.com

Bernal Stoopen, José Francisco
josebernalstoopen@yahoo.com

Botello López, Francisco Javier
Conservación Biológica y Desarrollo Social, A.C.
franciscobotello@conbiodes.com

Burgos Hidalgo, Inti
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco
inti.burgos@gmail.com

Cabrera Aguirre, Edith Georgina
Secretaría del Medio Ambientedel Gobierno de la Ciudad de México
gcabrera.sma@gmail.com

Campos Morales, Rogelio
Dirección General de Zoológicos y Vida Silvestre
rogercamx@yahoo.com.mx

Cano Santana, Zenón
Universidad Nacional Autónoma de México (unam)
zcs@ciencias.unam.mx

Cantoral Uriza, Enrique Arturo
Universidad Nacional Autónoma de México
cantoral@ciencias.unam.mx

Carrillo Rivera, José Joel
Universidad Nacional Autónoma de México
joeljcr@igg.unam.mx

Casas Andreu, Gustavo
Universidad Nacional Autónoma de México
gcasas@ib.unam.mx

Castaño Meneses, Rosa Gabriela
Universidad Nacional Autónoma de México
gabycast99@hotmail.com

Castellanos Vargas, Iván
Universidad Nacional Autónoma de México
icv@ciencias.unam.mx

Castillo Argüero, Silvia
Universidad Nacional Autónoma de México
silcas@ciencias.unam.mx

Castillo González, Fernando
Colegio de Postgraduados
fcastill@colpos.mx

Castro Santiuste, Sandra
Universidad Nacional Autónoma de México
santiuste@ciencias.unam.mx

Cifuentes Blanco, Joaquín
Universidad Nacional Autónoma de México
jcifuentesblanco@hotmail.com

Corona Martínez, Eduardo
Instituto Nacional de Antropología e Historia
eduardo_corona@inah.gob.mx

Corona Nava Esparza, Víctor
Universidad Nacional Autónoma de México
vcorona@ib.unam.mx

Correa Beltrán, María Dolores
Instituto Nacional de Pediatría
mariadol@yahoo.com

Cotler Ávalos, Helena
Universidad Nacional Autónoma de México
helenacotler@gmail.com

Cram Heydrich, Silke
Universidad Nacional Autónoma de México
silkecram@igg.unam.mx

Cruz Angón, Andrea
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
acruz@conabio.gob.mx

Chávez Galván, Estrella Belén
cgbelene@gmail.com

Chávez Mejía, Alma Concepción
Universidad Nacional Autónoma de México
achavezm@iingen.unam.mx

Chimal Hernández, Aurora
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco
achimalh@gmail.com

Delgadillo Moya, Claudio
Universidad Nacional Autónoma de México
moya@unam.mx

Díaz de la Vega Pérez, Aníbal Helios
Universidad Autónoma de Tlaxcala
anibal.helios@gmail.com

Durán Barrón, César Gabriel
Universidad Nacional Autónoma de México
cesargdb@gmail.com

Espinosa Pérez, Héctor Salvador
Universidad Nacional Autónoma de México
hector@ib.unam.mx

Fernández Fernández, Daniela
Universidad Nacional Autónoma de México
danielafyf@gmail.com

Fernández Lomelín, María del Pilar
Universidad Nacional Autónoma de México
pilarf@igg.unam.mx

Flisser Steinbruch, Ana
Universidad Nacional Autónoma de México
flisser@unam.mx

Fragoso Martínez, Itzi
Universidad Nacional Autónoma de México
i.fragoso@ciencias.unam.mx

García Aldrete, Alfonso Neri
Universidad Nacional Autónoma de México
anga@ib.unam.mx

García Feria, Yajaira
Universidad Nacional Autónoma de México
yajairagf@ciencias.unam.mx

García Peña, María del Rosario
Universidad Nacional Autónoma de México
mrgp@ib.unam.mx

García Prieto, Luis
Universidad Nacional Autónoma de México
luis.garcia@ib.unam.mx

García Romero, Arturo
Universidad Nacional Autónoma de México
agromero@igg.unam.mx

García Rubio, Gabriela
gabgarciarubio@gmail.com

García Vázquez, Uri Omar
Universidad Nacional Autónoma de México
urigarcia@gmail.com

Gernandt, David Sebastián
Universidad Nacional Autónoma de México
dgernandt@ib.unam.mx

Ginez Vázquez, Luis David
Universidad Nacional Autónoma de México
ginez_28@hotmail.com

Gómez de Silva, Héctor
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
hector.gomezdesilva@gmail.com

Gómez Olivares, José Luis
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa
gool@xanum.uam.mx

González Díaz, María Eugenia
Ecosistémica, A.C.

González Martínez, Teresa
Universidad Nacional Autónoma de México
tere_mar_gm@yahoo.com.mx

González Medrano, Francisco
Universidad Nacional Autónoma de México
fgmedrano@yahoo.com.mx

González Mendoza, Areli Elizabeth
Universidad Nacional Autónoma de México
arelifosw_23@hotmail.com

González Salas, Raúl
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
rulobio@ciencias.unam.mx

González Soriano, Enrique
Universidad Nacional Autónoma de México
esoriano@ib.unam.mx

Gual Sill, Fernando
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco
fguals@correo.xoc.uam.mx

Guevara López, Lázaro
Universidad Nacional Autónoma de México
llg@st.ib.unam.mx

Guzmán Camacho, Ana Fabiola
Instituto Politécnico Nacional
a.f.guzmano@gmail.com

Hernández Cerda, María Engracia
Universidad Nacional Autónoma de México
mehc@unam.mx

Hernández Mejía, Guadalupe Gabriela
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco
bhaktaga@yahoo.com

Hernández Ortiz, Vicente
Instituto Nacional de Ecología, A.C.
vicente.hernandez@inecol.mx

Herrejón Otero, Julio César
Universidad Nacional Autónoma de México
mvzjulioho@gmail.com

Huidobro Campos, Leticia.
Universidad Nacional Autónoma de México
huidobroc@hotmail.com

Izquierdo San Agustín, Laura Adriana
Universidad Nacional Autónoma de México
lais@ciencias.unam.mx

Jiménez Arcos, Victor Hugo
Universidad Nacional Autónoma de México
victor.ja@selome.com.mx

Jiménez Cisneros, Blanca Elena
United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
bjimenezc@iingen.unam.mx

Jiménez Machorro, Rolando
Herbario Asociación Mexicana de Orquideología, A.C.
herbamo@prodigy.net.mx

Johansen Naime, Roberto Miguel
Universidad Nacional Autónoma de México
naime@ib.unam.mx

Juárez Orozco, Sonia María
Universidad Nacional Autónoma de México
sonia.juarez@gmail.com

Jujnovsky Orlandini, Julieta
Universidad Nacional Autónoma de México
julieta.jujnovsky@gmail.com

Kato Yamakake, Takeo Ángel
Colegio de Posgraduados
katoy@colpos.mx

López Gómez, Víctor
El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
lopez.victor@inifap.gob.mx

Lot Helgueras, Antonio
Universidad Nacional Autónoma de México
loth@ib.unam.mx

Lozano Mascarúa, Gloria Irene
Universidad Nacional Autónoma de México
gilozanomas@gmail.com

Lugo Hubp, José Inocente
Universidad Nacional Autónoma de México
joselugoh@hotmail.com

Luis Martínez, Moisés Armando
Universidad Nacional Autónoma de México
alm@ciencias.unam.mx

Llorente Bousquets, Jorge Enrique
Universidad Nacional Autónoma de México
jlb@ciencias.unam.mx

Martínez del Río, Ana Elisa
Universidad de la Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo
aemartinez@ucienegam.edu.mx

Martínez Duque, Paola
Universidad Nacional Autónoma de México
paola_martinez@ymail.com

Martínez Gordillo, Martha Juana
Universidad Nacional Autónoma de México
mjmg_unam@yahoo.com

Martínez Mayer, Enrique
Universidad Nacional Autónoma de México
emm@ib.unam.mx

Martínez Orea, Yuriana
Universidad Nacional Autónoma de México
yurimar29@yahoo.com.mx

Mayén Estrada, Rosaura
Universidad Nacional Autónoma de México
rme2@ciencias.unam.mx

Mazari Hiriart, Marisa
Universidad Nacional Autónoma de México
mazari@unam.mx

Mejorada Gómez, Elizabeth
Universidad Nacional Autónoma de México
mejorada@ib.unam.mx

Meléndez Herrada, Alejandro
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco
meha1789@correo.xoc.uam.mx

Mena González, Horacio
Universidad Nacional Autónoma de México
horacevet@yahoo.com

Méndez Cárdenas, Sergio Alejandro
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco
almeca@correo.xoc.uam.mx

Méndez de la Cruz, Fausto
Universidad Nacional Autónoma de México
faustor@ib.unam.mx

Mendoza Garfias, María Berenit
Universidad Nacional Autónoma de México
berenit@ib.unam.mx

Mendoza Hernández, Pedro Eloy
Universidad Nacional Autónoma de México
pemh@ciencias.unam.mx

Mendoza Marroquín, Jorge Iván
Universidad Nacional Autónoma de México
nomeireth@hotmail.com

Mojica Guzmán, Áurea Micaela
Universidad Nacional Autónoma de México
aurea@ib.unam.mx

Montiel Parra, Griselda
Universidad Nacional Autónoma de México
grismp@ib.unam.mx

Montijo Arreguín, Candys Michelle
Secretaría de Medio Ambiente Gobierno de la Ciudad de México
mmontijo.sma@gmail.com

Morales Guillaumin, Eduardo
Universidad de la Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo
moralesbent@gmail.com

Morales Valderrama, Carmen
Instituto Nacional de Antropología e Historia
iinaj67@yahoo.com.mx

Munguía Gil, María Teresa
Universidad Autónoma de Yucatán
teresa.munguia@correo.uady.mx

Muñúzuri Hernández, Salvador
Centro de Estudios Jurídicos y Ambientales, A.C.
ceja@ceja.org.mx

Nájera Cordero, Karla Carolina
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
knajera@conabio.gob.mx

Naranjo García, Edna
Universidad Nacional Autónoma de México
naranjo@unam.mx

Nava López, Mariana Zareth
State University of New York
mznavalo@syr.edu

Olivera Carrasco, María Teresa
Instituto Nacional de Antropología e Historia
teresa_olivera@inah.gob.mx

Oliveras de Ita, Adán
Sistemas Integrales de Gestión Ambiental, S.C.
oliverasdeita@yahoo.com.mx

Olson Zúnica, Mark Earl
Universidad Nacional Autónoma de México
molson@ib.unam.mx

Ortega Álvarez, Rubén
Universidad Nacional Autónoma de México
rubenortega.al@gmail.com

Ortega Larrocea, María del Pilar
Universidad Nacional Autónoma de México
mpol@geologia.unam.mx

Ortega Olivares, Mario
Universidad Autónoma Metropolita, Unidad Xochimilco
ortegaoli@hotmail.com

Ortiz García, Sol
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
sortiz@conacyt.mx

Palacios Fest, Manuel R.
Terra Nostra Earth Sciences Research, LLC
mrpalacios@tnesr.com

Palacios Vargas, José Guadalupe
Universidad Nacional Autónoma de México
troglolaphysa@hotmail.com

Paredes León, Ricardo
Universidad Nacional Autónoma de México
rparedes@st.ib.unam.mx

Peñuela Arévalo, Liliana Andrea
Red Tecnológica Multinacional, S.A de C.V.
lilianapenuela@gmail.com

Perdomo Velázquez, Héctor

Pérez Ortiz, Tila
Universidad Nacional Autónoma de México
tlam@ib.unam.mx

Pérez Ponce de León, Gerardo
Universidad Nacional Autónoma de México
ppdleon@ib.unam.mx

Pérez Ramírez, Lilia
Universidad Nacional Autónoma de México
liliux10@yahoo.com.mx

Pisanty Baruch, Irene
Universidad Nacional Autónoma de México
ipisanty@unam.mx

Porras Macías, José Agustín
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco
aporras@correo.xoc.uam.mx

Ramos Elorduy y Blásquez, Julieta
Universidad Nacional Autónoma de México
relorduy@ibiologia.unam.mx

Ramos Ramos, Patricia
Secretaría de Medio Ambiente, Gobierno de la Ciudad de México
pramosramos.sma@gmail.com

Reyes Santiago, Panuncio Jerónimo
Universidad Nacional Autónoma de México
jreyes@ib.unam.mx

Reyes Santos, Margarita
Universidad Nacional Autónoma de México
mrsa@fciencias.unam.mx

Reygadas Prado, Diego David
diegoreygadas@gmail.com

Riojas Rodríguez, Javier
Universidad Iberoamericana/Universidad Nacional Autónoma de México/Universidad del Medio Ambiente
javier_riojas@hotmail.com

Rivera García, Arzu
arzu173@hotmail.com

Rivera García, Eduardo
Instituto de Ecología A.C.
eduardo.rivera@inecol.mx

Rivera Hernández, Jaime Ernesto
Centro de Estudios Geográficos, Biológicos y Comunitarios, S.C.
jriverah@geobicom.org

Rivera Rebolledo, Juan Arturo
Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno de la Ciudad de México
jarturorivera.sma@gmail.com

Rodríguez Gutiérrez, Ibeth
Universidad Nacional Autónoma de México
ibeth_rodriguez@yahoo.com

Romero Malpica, Francisco Javier
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco
mrfj1302@correo.xoc.uam.mx

Romero Mata, Ariana
Universidad Nacional Autónoma de México
arianromat@yahoo.com.mx

Romero Mayen, Ángeles Rocío
Universidad Nacional Autónoma de México
arrm81@gmail.com
Instituto de Biología. Departamento de Zoología.

Rosique Cañas, José Antonio
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco
arosique@correo.xoc.unam.mx

Rubio Lozano, Maya Sathya
sathya_rl@yahoo.com

Salazar Chávez, Gerardo Adolfo
Universidad Nacional Autónoma de México
gasc@ib.unam.mx

Santos Cerquera, Clemencia
Universidad Nacional Autónoma de México
csantos@igg.unam.mx

Serratos Hernández, José Antonio
Universidad Autónoma de la Ciudad de México
jas.uacm@gmail.com

Siebe Grabach, Christina Desiree
Universidad Nacional Autónoma de México
siebe@unam.mx

Sierra Galván, Sigfrido
Universidad Nacional Autónoma de México
sigfridosg@ciencias.unam.mx

Solís Jerónimo, Sandra
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
ssolis@conabio.gob.mx

Sorani Dalbón, Valentino
Universidad Autónoma del Estado de Morelos
vsorani@yahoo.com.mx

Suárez Lastra, Manuel
Universidad Nacional Autónoma de México
msuarez@igg.unam.mx

Suzán Azpiri, Gerardo
Universidad Nacional Autónoma de México
gerardosuz@gmail.com

Tejero Díez, José Daniel
Universidad Nacional Autónoma de México
tejero@unam.mx

Torres Colín, Rafael
Universidad Nacional Autónoma de México
rafael.torres@ib.unam.mx

Torres Díaz, Alin Nadyeli
Universidad Nacional Autónoma de México
alintd.biol@gmail.com

Torres González, Daniel
Universidad Nacional Autónoma de México
nobeeakon@gmail.com

Tovar Garza, Armando
Humedalia, A.C.
artoga_bio@hotmail.com

Trejo Hernández, Laura
Universidad Nacional Autónoma de México
laura.trejo@st.ib.unam.mx

Trujano Ortega, Marysol
Universidad Nacional Autónoma de México
marysol_trujano@yahoo.com.mx

Urquiza Hass, Esmeralda Gabriela
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
eurquiza@conabio.gob.mx

Valdez Mondragón, Alejandro
Universidad Nacional Autónoma de México
lat_mactans@yahoo.com.mx

Valencia Díaz, Xavier Gilberto
Universidad Nacional Autónoma de México
xavier@st.ib.unam.mx

Valiente Riveros, Elsa
Restauración Ecológica y Desarrollo, A.C.
dirección.redesmx@gmail.com

Vázquez Domínguez, Ella
Universidad Nacional Autónoma de México
evazquez@ecologia.unam.mx

Vázquez Selem, Lorenzo
Universidad Nacional Autónoma de México
lselem@igg.unam.mx

Vega Rosales, Martha Beatriz
Secretaría de Medio Ambiente, Gobierno de la Ciudad de México
mbvega@sedema.df.gob.mx

Verde Molina, Alejandra
Universidad Nacional Autónoma de México
ale.verdeme@gmail.com

Vicencio Aguilar, Maricela Elena
Universidad Nacional Autónoma de México
meva5700@gmail.com

Villegas Guzmán, Gabriel Alfredo
Instituto Politécnico Nacional
gabrvill@gmail.com

Villicaña Cruz, Francisco Javier
Universidad Nacional Autónoma de México
vjavier@atmosfera.unam.mx

Zambrano González, Luis
Universidad Nacional Autónoma de México
zambrano@ib.unam.mx

Zaragoza Caballero, Santiago
Universidad Nacional Autónoma de México
zaragoza@ib.unam.mx







La biodiversidad en la Ciudad de México
Volumen III

Se terminó de imprimir en 2016
en Corporación Mexicana de Impresión, S.A. de C.V. COMISA
General Victoriano Zepeda No. 22, Col. Observatorio 11860,
Ciudad de México
Se imprimieron 1738 ejemplares


9 786078 328710


CONABIO
COMISIÓN NACIONAL PARA EL
CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD


CDMX
CIUDAD DE MÉXICO


SEDEMA

